

# Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren

## Dissertation

Zur Erlangung des Doktorgrades Dr. phil.

im Fach Psychologie

von Dipl.-Psych. Josef Künsting

Geboren in Marsberg

Universität Duisburg-Essen, Campus Essen  
Fachbereich Bildungswissenschaften

Essen, 13.07.2007

Tag der Disputation: 15.11.2007

- 1. Gutachter: Prof. Dr. Detlev Leutner (Universität Duisburg-Essen)
- 2. Gutachter: Prof. Dr. Roland Brünken (Universität des Saarlandes)
- Promotionsausschussvorsitzende: Prof. Dr. Gisela Steins (Universität Duisburg-Essen)

## Danksagung

Diejenigen Leser dieser Arbeit, die zu ihrem Gelingen beitrugen, wissen an dieser Stelle, dass sie gemeint sind. Ich möchte mich bei ihnen ganz herzlich und aufrichtig bedanken. Die üblichen Formulierungen und Redewendungen in solchen Danksagungen setze ich als bekannt oder intuitiv erfassbar voraus. Deshalb, und weil es umseitig noch genug Lesestoff gibt, verzichte ich hier auf weiteren Text.

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Lernen als selbstreguliert-entdeckender Prozess.....</b>             | <b>7</b>  |
| 2.1      | Lernen als aktive Konstruktion von Wissen .....                         | 8         |
| 2.2      | Selbstreguliert-entdeckendes Lernen .....                               | 10        |
| 2.2.1    | Wissensarten .....  | 11        |
| 2.2.2    | Entdeckendes Lernen.....  | 12        |
| 2.2.3    | Selbstreguliertes Lernen.....   | 19        |
| 2.2.4    | Selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren.....          | 25        |
| 2.3      | Weitere Einflussfaktoren des selbstreguliert-entdeckenden Lernens ..... | 27        |
| 2.3.1    | Intelligenz und selbstreguliert-entdeckendes Lernen .....               | 27        |
| 2.3.2    | Vorwissen und selbstreguliert-entdeckendes Lernen .....                 | 30        |
| 2.3.3    | Motivation und selbstreguliert-entdeckendes Lernen .....                | 34        |
| 2.4      | Zielorientierungen und selbstreguliert-entdeckendes Lernen .....        | 36        |
| 2.4.1    | Zielorientierung als Konstrukt .....                                    | 37        |
| 2.4.2    | Zielorientierungen innerhalb selbstreguliert-entdeckenden Lernens ..... | 39        |
| 2.5      | Zusammenfassung .....   | 42        |
| <b>3</b> | <b>Instruktion durch externe Zielvorgaben .....</b>                     | <b>44</b> |
| 3.1      | Das Zielkonzept .....   | 45        |
| 3.2      | Psychologische Konzeptionen externer Zielvorgaben .....                 | 46        |
| 3.2.1    | Zielspezifität.....   | 47        |
| 3.2.2    | Zielqualität .....  | 54        |
| 3.3      | Bedingungen für die Übernahme externer Zielvorgaben .....               | 63        |
| 3.4      | Cognitive load und externe Zielvorgaben .....                           | 65        |
| 3.4.1    | Das Arbeitsgedächtnis.....  | 65        |
| 3.4.2    | Die cognitive load-Theorie .....  | 67        |
| 3.4.3    | Cognitive load und Zielspezifität .....                                 | 69        |
| 3.5      | Zusammenfassung .....   | 71        |
| <b>4</b> | <b>Forschungsanliegen dieser Arbeit.....</b>                            | <b>73</b> |
| 4.1      | Ziele der korrelativen Studie .....                                     | 74        |
| 4.2      | Ziele der experimentellen Studie .....                                  | 76        |
| <b>5</b> | <b>Die korrelative Studie .....</b>                                     | <b>81</b> |
| 5.1      | Präzisierung der Fragestellungen und Hypothesen.....                    | 82        |
| 5.2      | Methode.....  | 83        |
| 5.2.1    | Aufbau und Funktion der Experimentierumgebung .....                     | 83        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.2.2    | Stichprobe.....  | 85         |
| 5.2.3    | Instrumente.....   | 85         |
| 5.2.4    | Vorgehen .....   | 90         |
| 5.3      | Ergebnisse.....  | 92         |
| 5.3.1    | Evaluation der Experimentierumgebung.....                      | 92         |
| 5.3.2    | Strategienutzung als Prädiktor für Lernerfolg .....            | 94         |
| 5.3.3    | Vorwissen als Moderator .....                                  | 97         |
| 5.3.4    | Weitere Analysen.....  | 101        |
| 5.4      | Diskussion der korrelativen Studie .....                       | 102        |
| 5.4.1    | Zur Evaluation der Experimentierumgebung .....                 | 102        |
| 5.4.2    | Zur Rolle der Strategienutzung als Prädiktor.....              | 103        |
| 5.4.3    | Zur Rolle des Vorwissens als Moderator .....                   | 104        |
| <b>6</b> | <b>Die experimentelle Studie .....</b>                         | <b>105</b> |
| 6.1      | Präzisierung der Fragestellungen und Hypothesen.....           | 106        |
| 6.1.1    | Zielqualität und Zielspezifität .....                          | 106        |
| 6.1.2    | Problemlöseziele .....   | 107        |
| 6.1.3    | Lernziele .....  | 108        |
| 6.1.4    | Internale Lernzielorientierung und externale Zielvorgaben..... | 108        |
| 6.2      | Methode.....   | 110        |
| 6.2.1    | Stichprobe.....  | 110        |
| 6.2.2    | Konstruktion der externalen Zielvorgaben .....                 | 111        |
| 6.2.3    | Design der Untersuchung.....                                   | 113        |
| 6.2.4    | Versuchsdurchführung und Testreihenfolge.....                  | 113        |
| 6.2.5    | Instrumente.....   | 116        |
| 6.2.6    | Korrelative Zusammenhänge.....                                 | 127        |
| 6.3      | Ergebnisse.....  | 129        |
| 6.3.1    | Zielqualität und Zielspezifität .....                          | 136        |
| 6.3.2    | Problemlöseziele .....   | 139        |
| 6.3.3    | Lernziele .....  | 141        |
| 6.3.4    | Internale Lernzielorientierung und externale Zielvorgaben..... | 143        |
| 6.3.5    | Weitere Analysen zu den Fragestellungen .....                  | 144        |
| 6.4      | Diskussion der experimentellen Studie.....                     | 149        |
| 6.4.1    | Adaptierte und entwickelte Instrumente.....                    | 149        |
| 6.4.2    | Zu den Befunden der experimentellen Fragestellungen .....      | 151        |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassende Diskussion der Arbeit .....</b>            | <b>160</b> |
| 7.1      | Zusammenfassender Überblick .....                              | 160        |
| 7.2      | Theoretische Implikationen und Perspektiven .....              | 163        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 7.3       | Praktische Implikationen und Perspektiven ..... | 168        |
| <b>8</b>  | <b>Literatur</b> .....                          | <b>171</b> |
| <b>9</b>  | <b>Verzeichnisse</b> .....                      | <b>192</b> |
| 9.1       | Tabellenverzeichnis .....                       | 192        |
| 9.2       | Abbildungsverzeichnis .....                     | 193        |
| <b>10</b> | <b>Anhänge</b> .....                            | <b>194</b> |

## 1 Einführung

Eine solide naturwissenschaftliche Bildung besitzt in unserer Gesellschaft auch außerhalb von Wissenschaft und Technik eine hohe Bedeutung: Für einen verantwortungsbewussten Umgang mit Gesellschaft und Umwelt, für die Bewältigung alltäglicher, beruflicher und *berufsübergreifender* Anforderungen des permanenten Technologiewandels.

Ein gutes naturwissenschaftliches Verständnis kann daher als Schlüsselqualifikation gelten, um die durch umweltbezogene, technologische, berufliche und gesellschaftliche Entwicklungen entstehenden Anforderungen zu bewältigen (vgl. Baumert et al. 2001). Unter dem Konzept der naturwissenschaftlichen Grundbildung wird im Rahmen der PISA-Studien die Fähigkeit verstanden, „...*naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, welche die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen*“ (OECD, 2003, S. 133; vgl. Rost, Walter, Carstensen, Senkbeil & Prenzel, 2004).

Doch wie steht es im deutschen Schulsystem um die Qualität der Förderung von Schülern hinsichtlich ihrer naturwissenschaftlichen Grundbildung? Im naturwissenschaftlichen Schulunterricht stellt das Schülerexperiment eine zentrale Methode dar, um naturwissenschaftliche Grundbildung zu vermitteln. Die Unterrichtsforschung zur Vermittlung flexibel anwendbaren Wissens in der Schulpraxis stellt für den Einsatz naturwissenschaftlicher Schülerexperimente jedoch fest, dass der erwartete Lernerfolg oftmals ausbleibt (vgl. z.B. Hucke & Fischer, 2002). Mit diesen Resultaten konvergierend diagnostizierten Studien wie die *Third International Mathematics and Science Study* (TIMSS; Baumert, Bos & Watermann, 1999) und das *Programme for International Student Assessment* (PISA; Baumert et al., 2001; OECD, 2001), bei deutschen Schülerinnen und Schülern zwar eine relativ hoch ausgeprägte Kompetenz in der Bearbeitung naturwissenschaftlicher Routineaufgaben, aber klare Defizite im Begreifen naturwissenschaftlicher Sachverhalte und in der flexiblen Anwendung naturwissenschaftlichen Sach- und Handlungswissens (Prenzel, Rost, Senkbeil, Häußler & Klopp, 2001). Zwar zeigte sich von der PISA-Studie 2000 zur PISA-Studie 2003 eine leichte Verbesserung der gemessenen naturwissenschaftlichen Grundbildung (Rost et al., 2005). Jedoch befindet sich Deutschland im OECD-Durchschnitt immer noch im Mittelfeld des internationalen Vergleichs und bleibt weiterhin deutlich hinter Finnland, Japan und Korea zurück. Die „Risikogruppe“ (Schüler im untersten Kompetenzbereich) bleibt in der PISA-Studie 2003 sogar noch stärker hinter der „Spitzengruppe“ (Schüler im obersten Kompetenzbereich) zurück als in der PISA-Studie 2000.

Worauf sind diese Defizite in naturwissenschaftlicher Grundbildung zurückzuführen? Die Arbeiten von Merzyn (1994) und Schecker und Klieme (2001) vermitteln das Resümee eines defizitären experimentierenden Unterrichts. Besonders an Gymnasien dominiert als Unterrichtsexperiment das Demonstrationsexperiment gegenüber dem Schülerexperiment. Experimente werden weitgehend lehrerzentriert durchgeführt, so dass selbstständiges Lernen durch Experimentieren schülerseits minimal ist oder ganz ausbleibt. Auch Seidel et al. (2002; vgl. Huckle & Fischer, 2002; Lunetta, 1998) beschreiben den naturwissenschaftlichen Unterricht als vorwiegend lehrerzentrierten Unterricht mit Anteilen von Schülerexperimenten, in denen meist „situationale“ und „operationale“ Ziele vorgegeben werden: Schüler sollen Handlungsanweisungen möglichst getreu umsetzen (operationales Ziel) und dadurch ein vorgegebenes experimentelles Ergebnis (situationales Ziel) erreichen. Dies begünstigt das pure Abarbeiten von Rezepten, wozu eine elaborierte Verarbeitung der Anweisungen nicht zwingend erforderlich ist (vgl. auch *expository teaching*; z.B. de Jong et al., 1998).

Ausgehend hiervon wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Frage nachgegangen, ob die Vorgabe adäquater Ziele, die zu einer elaborierten Verarbeitung des Lerngegenstandes auffordern, auch zu einem bedeutsam höheren Erfolg beim Lernen in Experimentiersituationen führt. In der instruktionspsychologischen Forschung dominiert zwar der Befund, dass unspezifische Ziele (z.B. „Berechne so viele Werte, wie du kannst!“) zu höherem Lernerfolg führen als spezifische Ziele (z.B. „Berechne den Wert x!“; z.B. Sweller, 1988, 1994). *Eine zentrale Forschungslücke* besteht jedoch darin, dass diese Studien meist keine spezifischen und unspezifischen Ziele vorgaben, die explizit zu einer nachhaltigen Wissenserweiterung aufforderten. Oder die Studien ließen eine maßgebliche Konfundierung unterschiedlicher Zielmerkmale zu, führten die Unterschiede im Lernerfolg aber nur auf den Spezifitätsgrad von Zielen zurück.

Zielvorgaben als Instruktionsart beeinflussen neben abschließendem Lernerfolg (z.B. Burns & Vollmeyer, 2002; Sweller, 1988, 1994; Vollmeyer, Burns und Holyoak, 1996) auch die kognitive Belastung während ihrer Bearbeitung (z.B. Sweller, 1988, 1994; Trumpower, Goldsmith & Guynn, 2004) und das Ausmaß sowie die Art der strategischen Herangehensweise (z.B. Burns & Vollmeyer, 2002; Sweller, 1988, 1994). Ein *weiteres Forschungsdefizit* ist aber, dass für die kognitive Belastung unter Zielvorgaben noch kein *empirischer* Befund vorliegt. Auch wurden alle drei aufgeführten, lernrelevanten abhängigen Variablen noch nicht *innerhalb* einer einzelnen Studie betrachtet

Zusammenfassend intendiert die vorliegende Arbeit, die Effekte unterschiedlicher Zielvorgaben zum einen auf den Erfolg beim selbstständigen Lernen in Experimentiersituationen (de Jong & van Joolingen, 1998; de Jong, van Joolingen, Veermans & van der Meij, 2005; Klahr & Dunbar, 1988; Veenman & Elshout, 1999) zu untersuchen. Zum anderen werden die Belastung des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley,

1986) und die beim Experimentieren relevante Lernstrategie der isolierenden Variablenkontrolle (Chen & Klahr, 1999; Küsting, Thillmann, Wirth, Fischer & Leutner, im Druck) als von Zielvorgaben abhängige Variablen berücksichtigt. Dabei wird eine klare Trennung der Zielarten gemäß ihrer Merkmale vorgenommen. Ein zentrales Augenmerk liegt auf dem bislang vernachlässigten Vergleich von Zielen, die zum nachhaltigen Wissenserwerb auffordern, mit Zielen, die zum Lösen von Problemen auffordern. Neben den lernerfolgsrelevanten Kontrollvariablen Vorwissen, Intelligenz, aktuelle Motivation und Interesse wird zusätzlich überprüft, ob und inwieweit die Effekte von external gesetzten Zielen auf das Lernen durch interne Zielorientierungen der Probanden (z.B. Ames & Archer, 1988; Nicholls, 1984) beeinflusst werden.

*Ausblick auf die Etappen der Arbeit.* Die vorliegende Arbeit erstreckt sich zusammen mit der vorangegangenen Einführung über sieben Kapitel. *Kapitel 2* dient einem Überblick über theoretische Konzeptionen und wichtige Einflussfaktoren von Lernprozessen. Nach der Voranstellung der in dieser Arbeit zugrunde gelegten theoretischen Auffassung von Lernen als aktive Wissenskonstruktion werden durch Lernprozesse zu erwerbende Wissensarten vorgestellt. Anknüpfend werden die Konzeptionen des „entdeckenden Lernens“ und des „selbstregulierten Lernens“ mit den für sie charakteristischen Strategien dargestellt und sich einander ergänzend zum Begriff des „selbstreguliert-entdeckenden Lernens“ zusammengeführt. Schließlich wird in Kapitel 2.3 und Kapitel 2.4 beschrieben, wie Lernprozesse von Intelligenz, Vorwissen, Motivation und internalen Zielorientierungen beeinflusst werden können.

Im *dritten Kapitel* werden psychologische Konzeptionen externaler Zielvorgaben erörtert und voneinander abgegrenzt. Es werden charakteristische Merkmale unterschiedlicher Arten von Zielvorgaben gegenübergestellt und hinsichtlich ihres Einflusses auf Lernerfolg, auf die Belastung des Arbeitsgedächtnisses und auf die Herangehensweise an Aufgaben miteinander verglichen. Dabei besteht der Schwerpunkt zum einen in der Analyse der Dimension Zielpezifität: Die Gegenüberstellung spezifischer und unspezifischer Ziele. Zum anderen soll die Dimension Zielqualität erarbeitet werden: Lernziele (die Intention, Wissen nachhaltig zu erwerben) werden von Problemlösezielen (die Intention, einen situationalen Zustand herzustellen) abgegrenzt. In Kapitel 3.3 werden motivationale Bedingungen für die Übernahme externaler Zielvorgaben durch Personen dargestellt. Schließlich wird in Kapitel 3.4 gesondert auf das Zusammenspiel zwischen externalen Zielvorgaben, *cognitive load* und Lernerfolg eingegangen, um mit Kapitel 3.5 das gesamte dritte Kapitel zusammenzufassen.

In *Kapitel 4* wird aus dem theoretischen Hintergrund und dem Stand der bisherigen Forschung das Forschungsanliegen für die korrelative und die experimentelle Studie der vorliegenden Arbeit abgeleitet.



*Kapitel 5* beschäftigt sich mit der korrelativen Studie dieser Arbeit, in der zum einen die Entwicklung und Evaluation einer computerbasierten Experimentierumgebung sowie weiterer Testinstrumente (z.B. Wissenstests und ein Maß für die Strategienutzung) beschrieben werden. Zum anderen werden korrelative Zusammenhänge zwischen Lernerfolg, Strategienutzung und weiteren Kontrollvariablen mit besonderer Berücksichtigung des Vorwissens als Moderator untersucht. In Kapitel 5.4 werden die Befunde der korrelativen Studie diskutiert.

In *Kapitel 6* wird die experimentelle Studie beschrieben, bei der die oben erwähnte Experimentierumgebung ebenfalls eingesetzt wurde. Primär intendiert diese Studie, die zwei Dimensionen Zielqualität und Zielspezifität hinsichtlich ihrer Relevanz für den Lernerfolg, den *cognitive load* und die Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren miteinander zu vergleichen. Ein weiteres Anliegen besteht in der Replikation bisheriger Forschungsbefunde zur Wirkung spezifischer und unspezifischer Problemlöseziele auf den Lernerfolg, mit der Erweiterung um die Belastung des Arbeitsgedächtnisses und die Strategienutzung als zusätzliche abhängige Variablen. Bei diesen vergleichenden Analysen wird neben der Kontrolle von Vorwissen, Intelligenz, aktueller Motivation und Interesse auch die lernerfolgsbezogene Rolle des Ausmaßes internaler Lernzielorientierung geprüft. Kapitel 6.4 dient zur Diskussion der Befunde der experimentellen Studie.

*Kapitel 7* dient der zusammenfassenden Diskussion der Befunde zu den zwei Studien der vorliegenden Arbeit, was theoretische sowie praktische Implikationen und Perspektiven einschließt.

## **2 Lernen als selbstreguliert-entdeckender Prozess**

*Ausblick auf Kapitel 2.* In Kapitel 2.1 erfolgt zunächst ein Überblick über Theorien, die das Lernen als vom Lerner aktiv und eigenständig mitgestalteten Prozess betrachten. Anschließend wird unter Kapitel 2.2, nach der Darstellung der wichtigsten in Lernprozessen erwerbbaaren Wissensarten, das entdeckende Lernen im Allgemeinen mit einer Überleitung zum entdeckenden Lernen durch Experimentieren behandelt. In Kapitel 2.2.3 wird erst das selbstregulierte Lernen im Allgemeinen vorgestellt. Schließlich werden in Kapitel 2.2.4 die jeweils für die vorliegende Arbeit zentralen Aspekte des entdeckenden Lernens durch Experimentieren und die des selbstregulierten Lernens zum Begriff des *selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren* zusammengeführt.

## 2.1 Lernen als aktive Konstruktion von Wissen

*Wissenserwerb als aktiver Prozess.* Die Begriffe „Wissenserwerb“ und „Lernen“ werden in der vorliegenden Arbeit synonym verwendet. Angelehnt an Piaget (1974, 1983) wird dabei die kognitivistische Auffassung vertreten, dass Lerner ihr Wissen aktiv und konstruktiv erwerben. Kognitive Lerntheorien betonen, dass Lerner ihre Umwelt kognitiv repräsentieren können. Die vorliegende Arbeit grenzt damit den Wissenserwerb von behavioristischen Lerntheorien ab, nach denen Lernen vornehmlich nur dann stattfindet, wenn Verhalten durch die Umwelt positiv oder negativ verstärkt wird (Reiz-Reaktionsmuster). Diese mechanistische Sichtweise, die seit der „kognitiven Wende“ der 60er Jahre weniger häufig vertreten wird, schreibt Lernenden eine weitgehend passive Rolle in der Steuerung und Entwicklung ihrer eigenen Verhaltensweisen zu.

Bei einem Lernprozess wird nicht direkt abgebildet, was in der Außenwelt geschieht. Menschen besitzen vielmehr die Fähigkeit, die Aufnahme und Verarbeitung von Informationen und somit den Erwerb von Wissensstrukturen aktiv, also denkend und handelnd, zu beeinflussen: Schon Piaget (1974, 1983) wies zurück, dass Entwicklung ausschließlich empirisches Lernen sei, und bezeichnete den Wissenserwerb als Prozess, in dem Personen ihr Wissen aktiv und reflektiv konstruieren. Diese Auffassung wird auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegt.

Modernere konstruktivistisch orientierte Instruktionstheorien (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995; Prenzel & Mandl, 1991) betonen die hohe Bedeutung der Befähigung zu weitgehend selbstständigem Lernen und Problemlösen. Feng (1996) unterscheidet drei Auffassungen konstruktivistischer Theorien: 1. *Radikaler Konstruktivismus*, nach dem es kein objektives Abbild der Realität gibt und sich ein Verständnis für die Dinge bei Schülern am besten dann entwickelt, wenn sie in authentischen Lernumgebungen ihr individuelles Abbild der Wirklichkeit konstruieren können. Diese Authentizität von Lernumgebungen versucht die Methode des *cognitive apprenticeship* (Collins, Brown & Newman, 1989) zu verwirklichen. 2. *Moderater Konstruktivismus* geht hingegen davon aus, dass Personen in der Sichtweise der Realität einerseits übereinstimmen können, es aber andererseits auch genügend Freiraum für subjektiv-individuelle Theoriebildung gibt. Die Sichtweise der Wirklichkeit aus mehreren Perspektiven wird vom *cognitive flexibility-Ansatz* (Spiro, Coulson, Feltovich & Anderson, 1988; Spiro & Jengh, 1990) aufgegriffen. Grob gesehen sollten danach, um multiperspektivisches Lernen zu fördern, gerade in fortgeschrittenen Phasen des Wissenserwerbs, in schwach strukturierten Inhaltsgebieten den Lernenden Komplexitäten und Irregularitäten der Realität aufgezeigt werden. 3. *Moderat-rationaler Konstruktivismus* hält eine objektiv erfahrbare Realität für möglich, betrachtet den Erwerb von Wissen nicht als gänzlich individuell und schließt nicht aus, dass mehrere Personen ein und dieselbe Sache identisch interpretieren können. Nach diesem Ansatz sollte die Lehrperson zwar stärker in den Hintergrund treten, aber den

Lernprozess durch das Geben von Lern-Gelegenheiten und -Hilfen unterstützen und moderieren (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995; Mayer, 2004; Winn, 1991).

*Wissenstransfer.* Nach konstruktivistischen Prinzipien gestaltete Lernumgebungen können den Erwerb nachhaltigen und übertragbaren Wissens fördern (z.B. Gerstenmaier & Mandl, 1995; Prenzel & Mandl, 1991). Bei kurzer Übertragungsdistanz zwischen ursprünglicher Lernsituation und Transfersituation wird von *proximalem* (nahem) Transfer gesprochen. Ein Schüler mag sich zum Beispiel eine wissenschaftliche Fernsehsendung angesehen haben und sein hierbei erworbenes Wissen für die Lösung thematisch ähnlicher Aufgaben in einer Biologiearbeit nutzen. Bei langer Übertragungsdistanz liegt hingegen ein *distaler* (weiter) Transfer vor. Ein Schüler mag zum Beispiel kognitive und metakognitive Strategien bei der Vorbereitung auf eine Biologiearbeit erworben haben und kann sie nun auch für die Vorbereitung auf Arbeiten in anderen Schulfächern nutzen (vgl. Bruner, 1970; Hager & Hasselhorn, 2000; Mähler & Hasselhorn, 2001; Mayer & Greeno, 1972). Der Erwerb transferierbaren Wissens wird nach konstruktivistischer Auffassung maßgeblich durch das Konzept der Kontextualisierung ermöglicht (Problem- oder Aufgabenstellungen werden in einen größeren Kontext eingebettet; Prenzel & Mandl, 1991; Reinmann-Rothmeier, Mandl & Prenzel 1994). Ein Beispiel hierfür ist der *anchored instruction-Ansatz* (Bransford, Sherwood, Hasselbring, Kinzer & Williams, 1990), bei dem zu Beginn einer Instruktion ein „Anker“ in Form eines fiktiven Abenteuerkontextes steht, welcher das Interesse generieren und die Wahrnehmung während der Aufgabenbearbeitung lenken soll.

Die Idee des Lernens in „offenen“ Lernumgebungen beinhaltet, dass Lernende selbst entscheiden, wann, wo, wie und was sie lernen möchten, was selbstständiges Lernen ermöglicht, aber auch erfordert (Weinert, 1982). Das zur Verfügungstellen von Freiheitsgraden beim experimentierenden Lernen darf die Gefahr einer Überforderung des Lerners nicht aus dem Blickpunkt geraten lassen (vgl. z.B. Conklin, 1987). Es sei an dieser Stelle betont, dass in der vorliegenden Arbeit die Lernförderlichkeit offener Lernumgebungen *nicht* auf eine konstruktivistische Basis instruktionsfreier Selbstüberlassenheit zurückgeführt wird, sondern auf eine Balance zwischen genügend Freiheitsgraden und adäquater instruktionaler Unterstützung (moderat-rationaler Konstruktivismus). Diese Ansicht unterstützend fand beispielsweise Leutner (1993), dass Siebtklässler die computerbasierte Simulation eines agrarökonomischen Systems („Hunger in Afrika“; Schrettenbrunner, 1992) ohne instruktionale Unterstützung zwar steuern lernten, aber wenig domänenspezifisches Wissen über Konzepte, Fakten, Regeln und Prinzipien des Systems erwarben. Bei den Probanden mit instruktionaler Unterstützung (*guided discovery learning*) hingegen war es umgekehrt.

Auch die Art der instruktionalen Gestaltung einer offenen Lernumgebung beeinflusst in vielfältiger Weise den Lernerfolg (z.B. Brünken, Plass & Leutner, 2003; Burns &

Vollmeyer, 2002; Geddes & Stevenson, 1997; Mayer, 2001). Ebenfalls entscheiden Intelligenz (z.B. Leutner, 2002; Sternberg, 1999; Süß, 1996), selbstregulative Fähigkeiten (z.B. Boekaerts, 1997, 1999; Schreiber, 1998), domänenspezifisches und lernstrategisches Vorwissen (z.B. Baumert & Köller, 1996; Leutner & Leopold, 2003) seitens des Lernalers sowie soziale, situationale und kulturelle Gegebenheiten darüber (z.B. Greeno, 1997; Jonassen, 1991; vgl. Piaget, 1974, 1983; Urhahne, Prenzel, von Davier, Senkbeil & Bleschke, 2000). In diesem Zusammenhang sind ATI-Effekte (Cronbach & Snow, 1977; Hummel-Rossi, 1981) nicht auszuschließen, beispielsweise in der Form, dass Novizen von einer durch instruktionale Maßnahmen stark vorstrukturierten Lernumgebung profitieren, während für Experten diese Maßnahmen redundant und sogar hinderlich sein können (vgl. Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003; Mayer, 2001; Renkl, 1997; Renkl, Atkinson & Maier, 2000).

Offene Lernumgebungen *können* durch ihr Maß an Freiheit die selbstständige Erschließung funktionaler Zusammenhänge in einer verwendeten Domäne fördern. Die eigenständige Steuerung und Kontrolle des Lernprozesses stellt jedoch entsprechend hohe Anforderungen an Lerner, die ohne adäquates Vorwissen sowie ohne ausreichende kognitive und metakognitive Fähigkeiten überfordert sind (vgl. Baumert et al., 2001; de Jong, 1991; Goodyear, Njoo, Hijne & Van Berkum, 1991; Veenman & Beishuizen, 2004; Veenman & Elshout, 1995). Solche Lerner neigen zu einer wahllosen und unsystematischen Exploration, ohne dabei brauchbares Wissen zu erwerben (Brown & Pressley, 1994; Pressley & Afflerbach, 1995; Wyatt et al., 1993).

*Fazit.* Lernen kann als Prozess verstanden werden, in dem Lernende aktiv und konstruktiv Wissen erwerben. Offene, nach konstruktivistischen Prinzipien gestaltete Lernumgebungen, die selbstständiges Lernen ermöglichen, können den Erwerb nachhaltigen und übertragbaren Wissens fördern. Dabei sollten die Anforderungen einer eigenständigen Regulation von Lernprozessen bei der Gestaltung von Lernumgebungen beachtet werden. In Abhängigkeit vom Vorwissen und von kognitiven sowie metakognitiven Voraussetzungen Lernender kann ein Mangel an instruktionaler Unterstützung ineffizientes Lernverhalten hervorrufen. Erfolgreiche Lernprozesse in offenen Lernumgebungen sind demnach am ehesten zu erwarten, wenn ein adäquates Ausmaß an instruktionaler Unterstützung zur Verfügung gestellt wird.

## **2.2 Selbstreguliert-entdeckendes Lernen**

Im Folgenden wird über die Unterscheidung von Wissensarten (Kapitel 2.2.1) und die Darstellung allgemeiner Prinzipien des entdeckenden Lernens (Kapitel 2.2.2) zunächst auf das entdeckende Lernen durch Experimentieren (Abschnitt 2.2.2.1) hingearbeitet.

### 2.2.1 Wissensarten

Welche Wissensarten Personen erwerben, hängt von ihren eigenen Voraussetzungen und Zielsetzungen, vom Lernmaterial, von übergeordneten Lehrzielen Lehrender sowie von der Struktur der Lernumgebung ab (z.B. Lernen mit Texten vs. Lernen mit computerbasierten Simulationen). Dementsprechend kann durch Lernen sowohl Handlungswissen als auch Wissen über Sachverhalte erworben werden. Süß (1996; vgl. Hacker, 1998; Oberauer, 1997) unterscheidet Wissen in einer Taxonomie nach zwei Dimensionen: Sachwissen und Handlungswissen werden danach voneinander abgegrenzt, *was* eine Person weiß. Während *Sachwissen* Kenntnisse über Inhaltsbereiche, Konzepte, Fakten oder Sachverhalte umfasst, beinhaltet *Handlungswissen* Kenntnisse darüber, welche kognitiven oder motorischen Handlungen unter bestimmten gegebenen Bedingungen zielführend sind (z.B. Fertigkeiten, Strategie- und Regelkenntnisse). Der Unterschied zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen besteht hingegen darin, ob das Wissen sprachlich ausgedrückt werden kann, oder ob es sich implizit als Handlungskompetenz äußert: Während sich *deklaratives Wissen* in der Fähigkeit äußert, Fragen beantworten zu können (verbal mitteilbares Wissen über Fakten, Handlungen, Verfahrensweisen oder Prozesse), zeigt sich *prozedurales Wissen* ausschließlich darin, in einer Situation erfolgreich handeln zu können (die kognitive und/oder motorische Durchführung von Prozessen, Operationen oder Handlungen). In Anlehnung an Süß (1996) ergeben sich durch die Kombination dieser beiden Dimensionen vier Wissensarten (Tabelle 1).

*Tabelle 1: Taxonomie von Wissensformen in Anlehnung an Süß (1996)*

|                     | Sachwissen   | Handlungswissen  |
|---------------------|--|--|
| Deklaratives Wissen | <i>I. Zeigt sich z.B. darin, Fakten, Konzepte, Sachverhalte, Zustände, Prozesse oder Zusammenhänge beschreiben zu können.</i>                | <i>II. Zeigt sich z.B. darin, zielführende Handlungsanleitungen oder Prozeduren in bzw. für Situationen angeben zu können.</i> |
| Prozedurales Wissen | <i>III. Zeigt sich z.B. darin, Zustände, Prozesse, Sachverhalte oder Muster als wesentliche Merkmale von Situationen erkennen zu können.</i> | <i>IV. Zeigt sich z.B. darin, zielführende Handlungen, Prozeduren oder Techniken in Situationen durchführen zu können.</i>     |

Computerbasierte Lernumgebungen, die sowohl die Durchführung von simulierten Handlungsprozessen als auch die Aufnahme von inhaltlichen Informationen über Zusammenhänge zwischen Variablen erlauben, dürften prinzipiell sowohl den Erwerb von deklarativem als auch den von prozeduralem Sach- beziehungsweise Handlungswissen ermöglichen. Textbasiertes Lernen sollte sich weniger für den Erwerb

prozeduralen Sach- und Handlungswissens eignen, da dieses sich in der Fähigkeit äußert, Handlungen und Prozeduren erkennen beziehungsweise durchführen zu können.

### 2.2.2 Entdeckendes Lernen

Der Erwerb verschiedener Arten von Wissen kann auf qualitativ unterschiedliche Weise erfolgen. Dabei kann ein wohl dosiertes Ausmaß an Selbstständigkeit während des Lernprozesses seitens des Lernenden die Qualität des Lernergebnisses positiv beeinflussen. Bruner, Goodnow und Austin (1956) fanden, dass Lernende Informationen und Hypothesen selbstständig generieren, aufnehmen, selektieren und aktiv rekonstruieren, wodurch Wissen aufgebaut wird, das über die ursprünglich als Lernmaterial dargebotene Information hinausgeht. Diese selbstständige Erschließung eines Wissensgebietes, bei der den Lehrenden nur eine beobachtende und helfende Funktion zukommt, versteht Bruner (1961, 1970) als *entdeckendes Lernen* (*learning by discovery*). Entdeckendes Lernen im Schulunterricht führt nach Bruner dazu, dass Schüler „lernen, wie man lernt“. Neben einer besseren Organisation von Informationen im Gedächtnis kann durch entdeckendes Lernen das strategische Problemlösen, das selbstständige situations- und problemübergreifende Denken, die Wissensanwendung sowie die Motivation gefördert werden (Bruner, 1961).

*Vier Dimensionen des Lernens.* Dem Merkmal der Selbstständigkeit beim entdeckenden Lernen steht das *rezeptive Lernen* gegenüber (vgl. Ausubel, Novak und Hanesian, 1980/81), bei welchem dem Lerner das zu lernende Material in weitgehend fertiger Form dargeboten wird (z.B. Vorträge oder Texte, in denen Bedeutungen oder Definitionen bereits enthalten sind). Folgt man Ausubel et al. (1980/81), dann kann entdeckendes und rezeptives Lernen jeweils „sinnvoll“ oder „mechanisch“ erfolgen. Sinnvolles Lernen ereignet sich, wenn potenziell bedeutungshaltiges Lernmaterial inhaltlich gelernt wird, mit eigenen Worten wiedergegeben und mit Vorwissen verknüpft wird. Beim mechanischen Lernen wird potenziell bedeutungshaltiges Lernmaterial wortwörtlich statt inhaltlich gelernt, nicht mit eigenen Worten wiedergegeben und nicht zufallsfrei mit Vorwissen verknüpft (Gagné, 1965: „Lernen verbaler Ketten“; Alltagssprachlich: „Auswendiglernen“; Ausubel et al., 1980/81). Gemäß der Theorie der Verarbeitungstiefe ( Craik & Lockhart, 1972) lässt sich mechanisches Lernen als oberflächliche Informationsverarbeitung und sinnvolles Lernen als elaborierte, tiefe Informationsverarbeitung verstehen.

Nach Ausubel et al. (1980/81) ist das wesentlichste Merkmal entdeckenden Lernens „...die Tatsache, dass der Hauptinhalt dessen, was gelernt werden soll, nicht gegeben ist, sondern vom Schüler entdeckt werden muss...“ (S.47). Die Autoren ordnen den Lernprozess sowohl auf dem Kontinuum vom mechanischen zum sinnvollen als auch auf dem vom rezeptiven zum entdeckenden Lernen ein, was zu einer Kombination dieser

zwei Dimensionen des Lernens führt (Tabelle 2). Gagné (1965) und Ausubel et al. (1980/81) betrachten nur den sinnvollen, nicht aber den mechanischen Erwerb von (sprachlichen) Informationen als Wissenserwerb.

**Tabelle 2:** Die vier Grundformen des Lernens nach Ausubel et al. (1989/1981)

|            | mechanisch  | sinnvoll   |
|------------|---|--|
| rezeptiv   | I. Wortwörtlich gelernte Information wird nicht mit Vorwissen verknüpft.                          | II. Inhaltlich gelernte Information wird mit Vorwissen verknüpft.                        |
| entdeckend | III. Selbst entdeckte Sachverhalte werden wortwörtlich gelernt und nicht mit Vorwissen verknüpft. | IV. Selbst entdeckte Sachverhalte werden inhaltlich gelernt und mit Vorwissen verknüpft. |

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Effekten external dargebotener Zielvorgaben insbesondere auf den sinnvoll-entdeckenden Wissenserwerb (Zelle IV, Tabelle 2). Es wird aber davon ausgegangen, dass der Erwerb von Wissen sowohl mechanisch als auch sinnvoll erfolgen kann. Da in dieser Arbeit kein sprachliches Lernen mit Texten untersucht wird, sondern *entdeckendes Lernen durch Experimentieren* in einer computerbasierten Lernumgebung, wird entdeckendes Lernen nicht als bloßer Erwerb von Begriffs- und Regelwissen konzeptualisiert (Cantor, Dunlap & Rettie, 1982; Medin & Ross, 1989). Vielmehr wird dieses Lernen als selbstregulierter Prozess durch Explorieren und Experimentieren verstanden. Ohne zu ignorieren, dass Lernprozesse sowohl *intentional* (bewusst) als auch *inzidentell* (unbewusst oder beiläufig) stattfinden können (z.B. Hoffmann, 1993; Kihlstrom, 1987), liegt der wesentliche Fokus dieser Arbeit auf dem beabsichtigten, durch Zielvorgaben beeinflussten entdeckenden Lernen durch Experimentieren.

### 2.2.2.1 Entdeckendes Lernen durch Experimentieren

Durch instruktionspsychologische Ansätze, wie zum Beispiel den *scientific discovery as dual search (SDDS)*-Ansatz (Klahr & Dunbar, 1988), ist das Konzept des entdeckenden Lernens in den letzten 20 Jahren weiterentwickelt worden. Während entdeckendes Lernen (*discovery learning*) im Allgemeinen nicht auf bestimmte Fachgebiete oder Strukturen von Lernumgebungen beschränkt ist und nicht nur typische naturwissenschaftliche Arbeitsweisen fokussiert (z.B. das Experimentieren), impliziert entdeckendes Lernen durch Experimentieren (*scientific discovery learning*) als Spezialfall konstruktivistischer Lernformen (de Jong & van Joolingen, 1998) die Planung und Durchführung von Experimenten als zentrales Merkmal in naturwissenschaftlichen Domänen. Bei der Untersuchung von Prozessen zur Beantwortung

naturwissenschaftlicher Fragestellungen stehen wissenschaftliche Vorgehensweisen im Vordergrund, die zu einem erfolgreichen Erwerb neuer Informationen führen.

*Lernen durch Experimentieren geschieht interaktiv.* Durch experimentierende Handlungen kann ein aktueller *situationaler Zustand* einer Experimentierumgebung verändert werden. Ein solcher situationaler Zustand kann als ein außerhalb der Person liegendes Handlungsergebnis definiert werden: Beispielsweise kann bei einer Mathematikaufgabe das situationale Ziel sein, den Wert für eine unbekannte Variable auszurechnen. Durch das Einsetzen einer entsprechenden Formel kann ein gewünschter numerischer Wert in Form eines Ergebnisses als situationaler Zustand ausgerechnet („hergestellt“) werden, womit das situationale Ziel erreicht wäre. Ein anderes Beispiel: In einem Chemielabor soll über das Variieren von Druck und Temperatur (unabhängige Variablen) ein bestimmter Feststoff in einen anderen Aggregatzustand (abhängige Variable) überführt werden. Ein situationales Ziel könnte hierbei sein, den gasförmigen Aggregatzustand herzustellen (= situationaler Zustand). Ein hergestellter situationaler Zustand als vorher noch nicht vorhandene und nicht wahrnehmbare Information ist einerseits als Handlungsergebnis, andererseits als Rückmeldung über die Wirkung der Handlung aufzufassen. Beim Lernen mit Texten tritt diese Kopplung von Handlung und Rückmeldung nicht auf: Ein Lerner mag einen Text gelesen und durch Markieren auf ihn eingewirkt haben, er bekommt aber keine Rückmeldung zu seinen Lernhandlungen (Wirth & Leutner, 2006).

*Entdeckender Wissenserwerb durch Experimentieren als duale Suche.* Beim entdeckenden Lernen durch (interaktives) Experimentieren (z.B. Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1997) identifizieren Lernende Informationen weitgehend selbstständig. Dabei liegt strategisches Identifikationsverhalten vor, wenn Hypothesen über Zusammenhänge zwischen Variablen gebildet und durch adäquate Operationen getestet werden. Das Resultat einer solchen Hypothesentestung muss unter Bezugnahme auf das Vorwissen interpretiert und in eigene Wissensstrukturen integriert werden. Systematisches Bilden von Hypothesen in einem Lernprozess kann sowohl die Identifikation als auch die Integration von Informationen erleichtern (Wirth, 2004).

Ein solches hypothesengeleitetes Identifizieren von Informationen wird von Klahr und Dunbar (1988) als experimentierend-entdeckende duale Suche (*scientific-discovery-as-dual-search*, SDDS) beschrieben. Basierend auf dem Zwei-Räume-Modell (*dual space-model*) von Simon und Lea (1974) sehen Klahr und Dunbar naturwissenschaftliches Wissen theoretisch in einem Hypothesenraum und einem Experimenterraum repräsentiert und betrachten die Suche in diesen zwei miteinander verbundenen Räumen als erforderlich für das Ziehen von Schlussfolgerungen durch Experimentieren (*scientific reasoning*; Klahr & Dunbar, 1988; van Joolingen & de Jong, 1997). Im *Hypothesenraum* (bei Simon und Lea: *rule space*) sucht ein Lerner nach Annahmen über die



Zusammenhänge von Variablen und darüber, welche Effekte die Veränderung der Werte bestimmter Variablen auf die Werte anderer Variablen hat (Suche im Hypothesenraum). Zum Beispiel kann die Annahme aufgestellt werden, dass ein bestimmter Feststoff dann in einer bestimmten Flüssigkeit sinkt, wenn er eine größere Dichte als die Flüssigkeit hat. Die Annahme kann dahingehend erweitert werden, dass eine entsprechende Vergrößerung der Dichte der Flüssigkeit dazu führt, dass dieser Feststoff darin schwimmt. Die Annahme kann schließlich zur Regel ausgeweitet werden, dass Festkörper immer dann in einer Flüssigkeit sinken, wenn ihre Dichte größer ist als die der Flüssigkeit, und darin schwimmen, wenn es umgekehrt ist (vgl. van Joolingen & de Jong, 1997). Durch Experimentieren ermöglichtes Schlussfolgern von Relationen zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen wurde auch unter dem Begriff *inductive learning* (Greeno Collins & Resnick, 1996; Holland, Holyoak, Nisbett & Thagard, 1986) untersucht (vgl. *exploration learning*; Hoyles, 1995; und *induktives Denken*; Klauer, 2001).

Im *Experimenterraum* (bei Simon und Lea: *instance space*) kann nach Operatoren gesucht werden, mit denen sich die Gültigkeit zuvor generierter Hypothesen oder vermuteter Regeln testen lässt. Auf der Durchführungsebene können dann unabhängigen Variablen Ausprägungen zugewiesen werden, um ihren Einfluss auf die Ausprägung abhängiger Variablen beobachten zu können. Beispielsweise könnte die Gültigkeit der oben aufgeführten Regel in einem entsprechenden experimentellen Setting überprüft werden, indem ein bestimmter Körper in einem ersten Experiment in eine Flüssigkeit gegeben wird, deren Dichte kleiner ist als die des Körpers. In einem zweiten Experiment kann der Körper in eine Flüssigkeit gegeben werden, deren Dichte größer ist als die des Körpers. Durch das Hineinwerfen eines Körpers in eine Flüssigkeit wird eine neue Information in Form des Verhaltens des Körpers sichtbar (Schwimmen bzw. Sinken), was Aufschluss über die Richtigkeit der zuvor aufgestellten Hypothese gibt.

Durch diese *Interaktion zwischen Hypothesenraum und Experimenterraum* können Hypothesen gebildet und verworfen beziehungsweise bestätigt werden. Auf im Hypothesenraum aufgestellte Hypothesen können bestimmte Aktivitäten im Experimenterraum folgen. Die im Experimenterraum durch Tests erzielten Resultate können wiederum die informative Basis für neue Hypothesen sein. Die Ergebnisse empirischer Studien, die das Zwei-Räume-Modell zugrunde legten, sprechen dafür, dass eine Suche, die nicht nur im Experimenterraum, sondern auch im Hypothesenraum stattfindet, zu einer größeren Effektivität des Lernens führt (z.B. Vollmeyer & Burns, 1996). Dabei wird die Effektivität des Lernens ebenfalls begünstigt, wenn das Bilden und Testen von Hypothesen systematisch durch den Einsatz kognitiver Strategien erfolgt (Klahr & Dunbar, 1988; Kröner, 2001; Küsting et al., im Druck; Vollmeyer & Burns, 1996; Vollmeyer et al., 1996).

### 2.2.2.2 Strategien des entdeckenden Lernens durch Experimentieren

*Identifikation und Integration von Informationen.* Wirth (2004) bewertete in seiner Arbeit kognitive Strategien dahingehend, ob sie der Identifikation oder Integration von Wissen dienen. Zu *Strategien der Wissensidentifikation* werden systematische Vorgehensweisen gezählt, durch die neue Informationen überhaupt erst produziert werden. Nach Wirth (2004) ist anzunehmen, dass sich ein erfolgreicher Lernprozess durch die Schwerpunktverlagerung von anfänglich vermehrtem Identifizieren von Informationen zu nach und nach anwachsendem Integrieren der Informationen in die bereits vorhandene Wissensstruktur auszeichnet, so dass die Informationen zu einem späteren Zeitpunkt wieder abrufbar sind.

Im Folgenden werden Strategien des Identifizierens von Informationen beschrieben, die beim entdeckenden Lernen durch Experimentieren relevant sind: Die isolierende Variablenkontrolle, die Variation von Extremwerten und die systematische Ordnung von Experimenten. Die für das entdeckende Lernen durch Experimentieren ebenfalls wichtigen *Strategien der Integration von Informationen* werden insbesondere in der Forschung zum selbstregulierten Lernen untersucht und in der vorliegenden Arbeit unter Kapitel 2.2.3 behandelt.

*Isolierende Variablenkontrolle.* Als Experimentierstrategie des Identifizierens in naturwissenschaftlichen Domänen gilt beispielsweise die *isolierende Variablenkontrolle* (IVK; vgl. z.B. Chen & Klahr, 1999: CVS - Control of Variables Strategy; vgl. auch Tschirgi, 1980). Diese Strategie beinhaltet das Identifizieren und Selegieren von Informationen (ein Merkmal des entdeckenden Lernens; Bruner, 1961), indem bei einem Experiment immer nur die Ausprägung *einer* unabhängigen Variable verändert wird. Alle anderen unabhängigen Variablen werden konstant gehalten beziehungsweise in ihrer Ausprägung eliminiert, so dass eine potenzielle Veränderung in der abhängigen Variable eindeutig auf die einzig variierte unabhängige Variable zurückgeführt werden kann. Soll beispielsweise für eine bestimmte chemische Substanz (unabhängige Variable) festgestellt werden, ob und wie sie eine bestimmte Flüssigkeit (abhängige Variable) verfärbt, darf sie nicht gleichzeitig mit anderen chemischen Substanzen (weitere unabhängige Variablen) in die Flüssigkeit gegeben werden. Ansonsten ließe sich eine potenzielle Farbveränderung der Flüssigkeit nicht eindeutig allein auf die aktuell interessierende Substanz zurückführen. Als kognitive Lernstrategie ist die isolierende Variablenkontrolle auch beim Lernen in Schülerexperimenten geeignet, um im Sinne des Bildens und Testens von Hypothesen Zusammenhänge zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen systematisch zu untersuchen. Ihr positiver Einfluss auf den Lernerfolg konnte in empirischen Studien sowohl unter realen Experimentierbedingungen (z.B. Chen & Klahr, 1999) als auch in computerbasierten Lernumgebungen mit

interaktiven Simulationen vielfach gezeigt werden (Leutner, Klieme, Meyer & Wirth, 2005; Kröner, 2001; Künting et al., im Druck; Vollmeyer & Rheinberg, 1998).

Künting et al. (im Druck) geben zu bedenken, dass diese kognitive Lernstrategie in der bisherigen Literatur uneinheitlich bezeichnet, definiert und operationalisiert wurde und weisen auf dadurch gefährdete Validitätsaspekte hin. Einer Unterscheidung von Garner (1978) folgend führen die Autoren zwei verschiedene Möglichkeiten an, die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle (IVK) einzusetzen: Ist eine unabhängige Variable (wie z.B. Sonneneinstrahlung) ein Merkmal, das entweder vorhanden ist oder nicht (ein *feature* im Sinne von Garner, 1978), muss im Rahmen der IVK-Strategie der Einfluss einer derartigen Variable vollständig „ausgeschaltet“ werden, um den Einfluss einer anderen „eingeschalteten“ Variable isolierend untersuchen zu können. In Begriffen des (psychologischen) Experimentierens entspricht dies der experimentellen Kontrolle einer Störvariablen durch *Eliminieren*. Handelt es sich bei einer unabhängigen Variablen dagegen um eine Eigenschaft, die in zwei oder mehr Ausprägungen grundsätzlich immer vorhanden und wie zum Beispiel die Farbe eines Gegenstandes nicht „ausschaltbar“ ist (eine *dimension* im Sinne von Garner, 1978), besteht im Rahmen der IVK-Strategie nur die Möglichkeit, den Einfluss einer derartigen Variable auf eine bestimmte Ausprägung zu fixieren, um den Einfluss einer anderen Variable isolierend untersuchen zu können. In Begriffen des (psychologischen) Experimentierens entspricht dies dem *Konstanthalten* einer Störvariablen. Da die isolierende Variablenkontrolle durch Eliminieren innerhalb eines Experiments<sup>1</sup> möglich wird, die isolierende Variablenkontrolle durch Konstanthalten jedoch nur zwischen zwei Experimenten, werden diese beiden Varianten der IVK-Strategie als „IVK-within“ und „IVK-between“ bezeichnet.

*IVK-within* ist das Zuweisen einer Ausprägung von ungleich Null zu genau einer unabhängigen Variablen *innerhalb* eines Experiments, während allen anderen unabhängigen Variablen die Ausprägung Null zugewiesen wird, ihr potenzieller Einfluss auf die abhängige Variable also eliminiert wird. Ein Beispiel für diese Strategievариante liefert Kröner (2001): An einer computerbasierten fiktiven Maschine soll der Einfluss von vier Reglern (unabhängige Variablen) auf die Anzeige von vier Instrumenten (abhängige Variablen) herausgefunden werden. Um isoliert den Einfluss von nur einem Regler auf die vier Anzeigeinstrumente zu überprüfen, darf – im Sinne der *IVK-within*-Strategie – nur einem der vier Regler eine Ausprägung ungleich Null zugewiesen werden, während die restlichen drei Regler auf Null gestellt werden müssen.

*IVK-between* ist das Variieren der Ausprägung genau einer unabhängigen Variable *zwischen* zwei aufeinander folgenden Experimenten, während alle anderen

---

<sup>1</sup> Unter der Durchführung eines Experiments wird in der vorliegenden Arbeit genau eine Beobachtung verstanden: Einer oder mehreren unabhängigen Variablen werden bestimmte Ausprägungen oder Werte zugewiesen, um deren potenziellen Einfluss auf abhängige Variablen beobachten zu können.

unabhängigen Variablen ihre Ausprägung aus dem ersten Experiment behalten, also konstant gehalten werden. Beispielsweise sollte bei Chen und Klahr (1999) herausgefunden werden, wie weit sich eine Reihe von Metall-Spiralfedern als Funktion ihrer Länge, ihrer Breite und des Durchmessers des Spiraldrahtes (drei unabhängige Variablen) beim Anhängen eines Gewichtes ausdehnen (abhängige Variable). Um zum Beispiel den Einfluss der Länge auf die Ausdehnung isoliert zu überprüfen, muss in einem Folgeexperiment eine Spiralfeder mit identischer Breite und identischem Durchmesser des Spiraldrahtes wie im Experiment zuvor, aber mit unterschiedlicher Länge des Spiraldrahtes ausgewählt werden.

*Extremwertvariation.* Eingebettet in die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle kann die Strategie der Extremwertvariation (vgl. Wirth, 2004; Wirth & Leutner, 2006) die Deutlichkeit in produzierten Ergebnissen erhöhen. Um wie im obigen Beispiel den Einfluss der Länge einer Metall-Spiralfeder auf ihre Ausdehnung isoliert *und* extremvariiert zu überprüfen, müsste in einem ersten Experiment die kürzeste und im Folgeexperiment die längste Spiralfeder, aber weiterhin mit identischer Breite und identischem Durchmesser des Spiraldrahtes ausgewählt werden. Außerhalb isolierender Variablenkontrolle (*within* und *between*) ist die Extremwertvariation weniger systematisch, da bei einer Variation von mehr als einer unabhängigen Variable pro Zeitpunkt auch ein stärker ausgeprägtes Ergebnis nicht mehr eindeutig auf die Wirkung einer unabhängigen Variable zurückgeführt werden kann.

*Systematische Ordnung von Experimenten.* Eine systematische und planvolle Ordnung beim Hypothesentesten umfasst nach Veenman und Elshout (1999) zum einen die Planung einzelner Experimente beziehungsweise Experimentepaare mit der Absicht, eindeutig interpretierbare Ergebnisse zu erzeugen (z.B. über den Einsatz der isolierenden Variablenkontrolle). Zum anderen umfasst diese systematische Ordnung die systematische Planung und Durchführung ganzer Sequenzen von zueinander in Beziehung stehenden und hypothesenrelevanten Experimenten beziehungsweise Experimentepaaren, damit nicht zusätzlich irrelevante Informationen verarbeitet werden müssen oder sie mit relevanten interferieren (vgl. Schunn & Anderson, 1999).

*Fazit.* Entdeckendes Lernen durch Experimentieren kann sich vorteilhaft auf die Qualität des Lernens auswirken, da selbst-entdeckend erworbenes Wissen leichter und flexibler auf folgende Lernsituationen transferierbar sein kann als rezeptiv erworbenes Wissen (Bruner, 1961). Zudem fördert entdeckendes Lernen durch Experimentieren nach Bruner (1961) die Entwicklung der Fähigkeit, selbstständig zu lernen, indem beispielsweise Prinzipien systematischer Lernhandlungen erworben werden, die sich sachgebietsübergreifend nutzen lassen. Ein moderates Ausmaß an Freiraum, um „lernen zu können, wie man selbstständig lernt“, kann dabei zwar hilfreich sein. Gleichsam

beugen aber instruktionale Hilfestellungen fehlgeleiteten und ineffizienten Lernprozessen vor.

Im Bereich der Lehr-Lernforschung in naturwissenschaftlichen Domänen entstand aus dem frühen Prinzip des entdeckenden Lernens das Konzept des entdeckenden Lernens durch Experimentieren (*scientific discovery learning*). Darin wird die Bedeutung des Bildens und Testens von Hypothesen für das Erlernen von Zusammenhängen zwischen Variablen naturwissenschaftlicher oder fiktiver Kontexte betont. Prominente Arbeiten hierzu, wie der SDDS-Ansatz von Klahr und Dunbar (1988), modellieren den selbstentdeckenden Wissenserwerb durch Experimentieren als Interaktion zwischen Lernhandlungen in einem Hypothesen- und einen Experimenterraum.

Für das Hypothesentesten durch Experimentieren kommt insbesondere der Experimentierstrategie der isolierenden Variablenkontrolle (IVK) als systematische Vorgehensweise für die Identifizierung von Informationen gerade in naturwissenschaftlichen Domänen eine zentrale Rolle zu. Nachhaltiger Wissenserwerb findet jedoch nur dann statt, wenn identifizierte Informationen auch integriert werden.

### **2.2.3 Selbstreguliertes Lernen**

Zu den Merkmalen des entdeckenden Lernens durch Experimentieren gehört neben dem systematischen Hypothesentesten und dem Einsatz von Experimentierstrategien auch der lernformübergreifende Aspekt der *Selbstregulation*. Der Prozess des entdeckenden Lernens durch Experimentieren verlangt eine selbstständige *Regulation* durch den Lerner: Der Lernprozess muss an einen sich ständig verändernden Wissenszustand angepasst werden. Die Ergebnisse durchgeführter Experimente verändern eine bislang vorhandene Informationsbasis, da die Berücksichtigung neu produzierter Informationen bereits bestehende Hypothesen verändern oder falsifizieren kann. Neu formulierte Annahmen können wiederum Anlass für weitere Experimente geben. Der entdeckende Wissenserwerb durch Experimentieren verlangt einer Person die Fähigkeit ab, selbstständig Annahmen über mögliche Zusammenhänge aufzustellen, sie durch geeignete Maßnahmen zu überprüfen und die Ergebnisse richtig zu interpretieren. Dabei muss eine lernende Person ihre kognitiven Aktivitäten eigenständig *regulieren*, was die Berücksichtigung einer jeweils aktuellen Situation in einer Lernumgebung erfordert. Die Person erhält ein Feedback durch einen selbst herbeigeführten Zustand und passt selbstständig weitere Schritte ihres Lernprozesses auf der Grundlage dieses Feedbacks an, was sich als *regulierender Eingriff* bezeichnen lässt. Dieser regulierende Aspekt des Lernens wird von den früheren Ansätzen zum entdeckenden Lernen (z.B. Bruner, 1961) nicht explizit berücksichtigt, wohingegen er in vielen Ansätzen zum selbstregulierten Lernen, die den prozesshaften Charakter der Lernens betonen, eine Kernannahme ist (z.B. Boekaerts, 1999; Schreiber, 1998).

Vor der Zusammenführung des Forschungsansatzes des entdeckenden Lernens durch Experimentieren mit dem des selbstregulierten Lernens in Kapitel 2.2.4, wird der prinzipielle Ansatz des selbstregulierten Lernens mit seinen Strategien eingeführt.

Gemäß den Ansätzen des selbstregulierten Lernens können Schüler durch die aktive und selbstbestimmte Anwendung von Lernstrategien ihr Lernen (Schiefele & Pekrun, 1996) und dadurch ihre Schulleistungen verbessern (Boekaerts, 1997). Seit der Wegbereitung durch die kognitive Wende wurden Formen des selbstständigen Lernens vielfältig konzeptualisiert und bezeichnet. Beispielsweise finden sich im deutschen Sprachraum Begriffe wie *selbstgesteuertes Lernen*, *selbstbestimmtes Lernen* oder *selbstreguliertes Lernen*, während im englischen Sprachraum Bezeichnungen wie *autodidaxy*, *independent study*, *self-directed learning* oder *self-regulated learning* verwendet werden (vgl. Brocket & Hiemstra, 1991; Leutner & Leopold, 2003; Schreiber, 1998). Oft basieren diese Begriffe auf komplexen Konstrukten und sprechen in ihren Definitionen unterschiedliche Aspekte des Lernens an (Friedrich & Mandl, 1990; Weinert, 1982). Beispielsweise besitzen die Begriffe Selbststeuerung und Selbstregulation eine unterschiedliche Bedeutung. Nach Leutner (1992, 1995) ist ein regulierender Eingriff in den Prozess eines Systems zum einen dadurch gekennzeichnet, dass er auf einen Soll-Zustand hin ausgerichtet ist. Zum anderen berücksichtigt der Lernende selbstständig Wissen über den aktuellen Ist-Zustand, um die Diskrepanz zwischen Ist- und Soll-Zustand zu reduzieren (vgl. Schmitz, 2003). Wird bei einer solchen Ausrichtung auf einen Soll-Zustand hin der Ist-Zustand nicht unmittelbar berücksichtigt, liegt dagegen ein steuernder Eingriff vor (Leutner, 1992, 1995). Damit besitzt ein regulierender Eingriff eine adaptive Komponente, bei der Lernhandlungen unter Berücksichtigung aktueller Wissenszustände selektiert und durchgeführt werden.

Weitere Unterschiede in den Konzeptionen zum selbstständigen Lernen liegen darin, welche Konstrukte sie per definitionem als Komponenten umfassen. Während beispielsweise Friedrich und Mandl (1997) unter dem Terminus selbstbestimmtes Lernen verstehen, dass Lerner selbstständig Inhalte und Ziele festlegen, schreiben sie dem selbstregulierten Lernen auch das Hinarbeiten auf fremdgesetzte Ziele zu. Auch innerhalb des Begriffes des selbstregulierten Lernens ist die Zuschreibung von definierenden Komponenten nicht homogen. Beispielsweise werden in der Definition des selbstregulierten Lernens von Weinert (1982) zwar Ziele und Strategien eines Lernenden aufgeführt, aber der Aspekt der prozesshaften Regulation wird ausgelassen. Auch insgesamt beinhalten die Modelle des selbstregulierten Lernens zum Teil unterschiedliche Komponenten (z.B. der prozesshafte Charakter, Ziele, Motivation, Metakognition und Kognition, ihre Wechselwirkungen sowie der Einfluss der Lernumgebung) oder werden zumindest unterschiedlich gewichtet (für einen Überblick siehe Schmitz, 2003).

In dem Modell des selbstregulierten Lernens von Zimmerman (2000; Schunk & Zimmerman, 1998) wird der Prozesscharakter und der Aspekt der Regulation deutlich zugrunde gelegt. Das selbstregulierte Lernen wird hier als Prozess mit der Abfolge dreier Phasen beschrieben: 1. Planung, 2. Handlungskontrolle und volitionale Kontrolle und 3. Selbstreflexion. Diese Phasen sind analog zu den Bestandteilen der Regulationsmodelle von Bandura (1986) zu sehen, wonach eine Zielsetzung (Soll-Zustand) zu Handlungen führt, der Ist-Zustand überwacht wird (Monitoring) und bei festgestellter Ist-Soll-Diskrepanz erneut Handlungen ergriffen werden, um die Diskrepanz weiter zu reduzieren (Regulation). Der Phasencharakter des selbstregulierten Lernens ist dabei nicht als streng sequenzieller, sondern als zyklischer Prozessverlauf zu sehen, da eine Wechselwirkung zwischen den Komponenten des selbstregulierten Lernens stattfindet (vgl. z.B. Boekaerts, 1999; Winne & Hadwin, 1998).

Pintrich (2000; vgl. auch Friedrich & Mandl, 1997; Schreiber, 1998) bezieht in seine Definition des selbstregulierten Lernens zusätzlich mit ein, dass selbstreguliertes Lernen auch durch die jeweilige Lernumgebung geleitet und eingeschränkt wird: „...*a general working definition of self-regulated learning is that it is an active, constructive process whereby learners set goals for their learning and then attempt to monitor, regulate, and control their cognition, motivation, and behaviour, guided and constrained by their goals and the contextual features in the environment*“ (S. 453).

Schreiber (1998) beschreibt das Konzept des selbstregulierten Lernens in ihrem Modell, in dem sie zentrale Prozessmerkmale (Strategien) des selbstregulierten Lernens ausdifferenziert und ihre jeweilige Funktion sowie ihre Wechselwirkung in einem selbstregulierten Lernprozess verdeutlicht. Die Autorin konstatiert basierend auf Simons (1992), dass viele Lerner ihre Lernprozesse nur unzureichend regulieren. Dabei führt sie untergeordnete Lernstrategien an, die durch übergeordnete Strategien reguliert werden. Übergeordnete Strategien sind das eigenständige *Setzen von Zielen* für den eigenen Lernprozess und dessen *Beobachtung*, um sich Rückmeldung über den aktuellen Stand des Lernprozesses zu verschaffen. Dazu kommt der Vergleich aktuell erreichter mit angestrebten Lernzielen, damit eine *Einschätzung* der Vergleichsresultate erfolgen kann. Auf deren Basis erfolgen Reaktionen auf Wahrnehmungs- oder Verhaltensebene als Kern der Selbstregulation von Lernverhalten. Bezugnehmend auf die Lehrtheorie von Klauer (1985) führt Schreiber (1998) an, dass durch diese übergeordneten Lernstrategien die Motivation, die Information, die Informationsverarbeitung, das Speichern, der Abruf und der Transfer als untergeordnete Lernstrategien (bei Klauer, 1985: *Lehrfunktionen*) reguliert werden sollten.

*Gemeinsamkeiten der Ansätze zum selbstregulierten Lernen.* Vier zentrale Merkmale des selbstregulierten Lernens können in Anlehnung an die Arbeiten von Boekaerts (1992), Pintrich (1999), Schreiber (1998), Winne (2005), Zimmerman (2000, 1989) sowie

Zimmerman und Schunk (1989) herausgestellt werden: *Erstens* beeinflussen Lerner kognitive, metakognitive, motivationale und verhaltensbezogene Aspekte ihres Lernprozesses aktiv selbst. *Zweitens* durchlaufen Lerner während des Lernprozesses eine Feedbackschleife, durch die sie ihren Lernprozess hinsichtlich der Effektivität ihrer Lernaktivitäten überwachen, regulieren und kontrollieren. *Drittens* ist es eine Frage der Motivation der Lerner, warum bestimmte selbstregulierende Maßnahmen mit welcher Intensität ergriffen werden. *Viertens* wird durch die volitionale Steuerung Lernender (Corno, 1986, 1989; vgl. Kuhl, 1983) ihre Lernabsicht vor konkurrierenden Einflüssen geschützt. Die erfolgreiche Selbstregulation des Lernens bedingt die Fähigkeit einer Person, Lernstrategien zur Identifikation, Aufnahme, Strukturierung, Speicherung und Nutzung neuer Informationen situationsadäquat anzuwenden (Baumert et al. 2000; vgl. Zimmerman & Martinez-Pons, 1990). Auch das in der vorliegenden Arbeit untersuchte experimentierende Lernen beinhaltet den Aspekt der Selbstregulation. Im Folgenden werden für das Konzept des selbstregulierten Lernens typische Strategien behandelt.

### **2.2.3.1 Strategien des selbstregulierten Lernens**

Allgemein können Lernstrategien als Vorgehensweisen, Handlungen und Kognitionen definiert werden, die dem Erwerb von Wissen dienen. Eine Abgrenzung des Strategiebegriffs von *Lernstilen* ist sinnvoll, da letztere – anders als Strategien – als individuelle und stabile Personenmerkmale, die in die Präferenz einer Person für bestimmte Vorgehensweisen münden, verstanden werden können (vgl. Schmeck, 1988a). Auch Taktiken, Prozeduren oder Techniken sind keine Synonyme für den Begriff Strategie, sondern werden als koordinierende Teilhandlungen einer Strategie aufgefasst (siehe Winne & Hadwin, 1998).

Mit weitgehendem Konsens wird die Nutzung von Strategien als systematische und planvolle Vorgehensweise aufgefasst, die über Konsequenzen basal-verbindlicher Anforderungen von Aufgaben (wie z.B. die einfache Investition von Aufmerksamkeit und das Beschäftigen mit der Aufgabe) hinausgeht und auf ein Ziel hin ausgerichtet ist (vgl. z.B. Bjorklund & Harnishfeger, 1990). Eine weitere Gemeinsamkeit der meisten Konzeptionen von Lernstrategien ist die Annahme von zur selbstgesteuerten Informationsaufnahme befähigten Personen, die reflektiert und flexibel bestimmte Vorgehensweisen zum Wissenserwerb einsetzen.

Während Klauer (1988) Lernstrategien relativ unspezifisch als Handlungssequenzen definiert, durch die ein definiertes Lernziel erreicht werden soll, stellt Hasselhorn (1996) eine vergleichsweise spezifische und festgelegte Definition vor: *„Strategien werden als Prozesse aufgefasst, die auf ein Lern- oder Behaltensziel ausgerichtet sind und die mehr als die obligatorischen Konsequenzen der Bearbeitung einer Gedächtnisanforderung darstellen (notwendige bzw. obligatorische Merkmale). Darüber hinaus müssen sie*



wenigstens eine zusätzliche akzessorische Eigenschaft aufweisen. Als akzessorische Eigenschaften kommen in Frage, dass sie intentional, bewusst, spontan, kontrolliert, kapazitätsbelastend und/oder selektiv sind“ (S. 61).

Letztendlich findet sich in der Literatur kein einheitlicher Konsens hinsichtlich der Definition von Lernstrategien (vgl. Bjorklund und Harnishfeger, 1990). Gehen zum Beispiel Paris, Lipson und Wixson (1983) von einer Bewusstseinspflichtigkeit strategischer Prozesse aus, relativieren Brown, Bransford, Ferrara und Campione (1983) und Pressley, Borkowsky & Schneider (1989) den Strategiebegriff als potenziell bewusstseinsfähig. Angelehnt an Pintrich (2000; vgl. Baumert & Köller, 1996; Friedrich, 1995) lassen sich drei unterschiedliche Kategorien von Strategien des selbstregulierten Lernens spezifizieren: Kognitive Lernstrategien, metakognitive Strategien und Strategien des Ressourcenmanagements. Zu *kognitiven Lernstrategien*<sup>2</sup> zählen Organisationsstrategien, Elaborationsstrategien und Memorierstrategien (vgl. Boekaerts, 1997, 1999; Weinstein & Mayer, 1986). Der Einsatz kognitiver Lernstrategien (vgl. die untergeordneten Lernstrategien nach Schreiber, 1998) dient der unmittelbaren Verarbeitung von Informationen und resultiert in einer entsprechenden Modifikation kognitiver Strukturen. *Organisationsstrategien* umfassen informationsreduktive Vorgehensweisen, bei denen Informationen durch Selektion, Zusammenfassung und Kategorisierung in sinnstiftende Einheiten gegliedert werden. *Elaborationsstrategien* dienen dazu, einen Sinn aus zu lernendem Stoff zu konstruieren (z.B. durch die Wiedergabe mit eigenen Worten), das neu Gelernte in bereits vorhandene Wissensstrukturen zu integrieren und es auf andere Kontexte zu transferieren. *Memorierstrategien* ermöglichen den Erhalt von Informationen im Arbeitsgedächtnis und ihre Konsolidierung in das Langzeitgedächtnis (z.B. lautes Wiederholen oder Auswendiglernen). Entwistle (1988) subsummiert Organisations- und Elaborationsstrategien unter *Tiefenverarbeitungsstrategien* und Memorierstrategien unter *Oberflächenverarbeitungsstrategien* (vgl. Artelt, 2000; siehe Craik & Lockhart, 1972).

Die Wirksamkeit kognitiver Lernstrategien ist vor allem in kognitionspsychologischen Studien empirisch nachgewiesen worden, in denen die Strategien meist experimentell induziert wurden (z.B. Hamilton, 1997; Leopold, den Elzen-Rump & Leutner, 2006; vgl. Leopold & Leutner, 2002a; Willoughy & Wood, 1994; Wild, 2000). Dabei werden höhere Zusammenhänge zwischen Strategienutzung und Lernerfolg erzielt, wenn nicht nur die *Nutzungshäufigkeit*, sondern auch die *Nutzungsqualität* von Lernstrategien berücksichtigt

---

<sup>2</sup> Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden – anders als z.B. bei Danserau (1985) – kognitive Lernstrategien von Problemlösestrategien (z.B. *Means-ends-analysis*; Newell & Simon, 1963) deutlich abgegrenzt. Problemlösestrategien dienen in erster Linie dazu, einen situationalen Zustand herzustellen, was eine *nachhaltige* Wissenserweiterung nicht zwangsläufig erfordert. Mit dem Herstellen eines situationalen Zustandes ist das Problem gelöst und damit kein Lernziel, sondern ein Problemlöseziel erreicht.

wird (Leutner & Leopold, 2002a; 2003; 2006). In Interventionsstudien wurden bedeutsame Effekte von antrainierten Lernstrategien auf Lernleistungen gezeigt (Chen & Klahr, 1999; Leopold et al., 2006; Leutner, Barthel & Schreiber, 2001; Pickl, Schmitz, Fischer & Heusel, 2001). Allerdings finden quantitative Feldstudien, welche, statt Strategien zu induzieren oder zu trainieren, das *Strategiewissen* über Fragebogenverfahren maßen (z.B. Baumert, 1993; Boerner, Seeber, Keller & Beinborn, 2005; Wild & Schiefele, 1994), nur geringe oder gar keine Zusammenhänge zwischen dem Ausprägungsgrad von Strategien und Lernerfolg (Artelt, 2000; Wild, 2000). Von einer hinreichenden Messgüte dieser Instrumente ausgegangen, könnten Nutzungsdefizite der untersuchten Probanden die Umsetzung ihres Wissens über Strategien in einen effizienten Strategieeinsatz verhindert haben (vgl. Hasselhorn, 1992).

Zu den *metakognitiven Strategien* werden die *Orientierung* (z.B. Überblick verschaffen), die *Planung* (z.B. eigene Lernziele setzen), die *Überwachung* (Monitoring, z.B. eigene Verstehens- und Zielerreichungskontrolle), die *Evaluation* (z.B. Bewertung von Aufgabenlösungen) und die *Regulation* (z.B. die Anpassung der aktuellen Lernaktivität an die Aufgabenanforderung) von kognitiven Strategien (z.B. eine notwendig gewordene Wiederholung) gezählt (Bannert, 2004; Boekaerts, 1999; Brown, 1987; Pintrich, 2000; Schreiber, 1998; Zimmerman & Martinez Pons, 1990). Bei einer eigenständigen Regulation kognitiver Strategien durch metakognitive Strategien kann von selbstreguliertem Lernen gesprochen werden (vgl. Schreiber, 1998). Während kognitive Strategien systematische Vorgehensweisen für die direkte Identifikation beziehungsweise Integration von Informationen sind, lassen sich metakognitive Strategien als die Kenntnis darüber auffassen, wann, wo und wie sich die kognitiven Strategien gewinnbringend einsetzen lassen.

Flavell (1987) unterscheidet drei Typen *metakognitiven Wissens*: Wissen über das eigene Selbst, Wissen über verschiedene kognitive Aufgaben und Wissen über Strategien. Alexander, Schallert und Hare (1991; vgl. Paris et al., 1983) teilen metakognitives Wissen in deklaratives, prozedurales und konditionales Wissen ein. Deklaratives und prozedurales Wissen bedeutet sowohl artikulierbares Wissen über Fakten, Verfahren, Handlungen oder Prozesse als auch Wissen über das Ausführen von Handlungen und Prozessen (vgl. Schnotz, 1994). *Deklaratives Metawissen* umfasst demnach Wissen über die eigene Lern- und Gedächtniskompetenz, über Anforderungen der Lernaufgabe, über Lern- und Behaltensstrategien sowie über die Interaktion dieser drei Variablen. *Prozedurales* oder *exekutives Metawissen* beinhaltet Wissen über die Prognose des Lernerfolgs (bei bekannten Anforderungen), über die Planung geeigneter Lernstrategien, über die Kontrolle kognitiver Aktivitäten sowie über die Evaluation verwendeter Strategien und Ergebnisse (Brown, 1978; Flavell & Wellman, 1977).

Schließlich wird unter *konditionalem Metawissen* die Kenntnis darüber verstanden, unter welchen Bedingungen und warum welche kognitive Strategie angewandt werden kann.

*Strategien des Ressourcenmanagements* beziehen sich auf die indirekte Unterstützung der eigentlichen informationsverarbeitenden Prozesse, wie zum Beispiel durch die Planung der Arbeitszeit und die Schaffung einer geeigneten Umgebung (Weinstein & Mayer, 1986). Wild und Schiefele (1994) trennen interne von externen Ressourcen, wobei interne Ressourcen die Person selbst betreffen und das Management der Anstrengung, der Zeit sowie der Aufmerksamkeit umfassen. Dagegen werden externe Ressourcen aus dem Umfeld der Person herangezogen, wie zum Beispiel Lernmaterialien oder soziale Unterstützung.

*Fazit.* Selbstreguliertes Lernen versteht sich als vom Lerner eigenständig gestalteter Prozess. Das Wissen über kognitive und metakognitive Strategien, die Fähigkeit sie adäquat anzuwenden und die Motivation gelten als zentrale Einflussfaktoren für den selbstregulierten Wissenserwerb in Lern- und Leistungssituationen. Dabei wird die Anwendung kognitiver Strategien (z.B. Elaborationsstrategien) über den Einsatz metakognitiver Strategien reguliert (z.B. Überwachung des eigenen Lernfortschritts). Der eigentliche Regulationsakt besteht darin, dass Personen im zyklischen Prozess selbstregulierten Lernens ihr Lernverhalten unter Berücksichtigung aktueller Ist-Zustände (anders als beim selbstgesteuerten Lernen) permanent an sich jeweils verändernde Lernsituationen adaptieren.

#### **2.2.4 Selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren**

Gemeinsam ist den Forschungsansätzen zum selbstregulierten Lernen und zum entdeckenden Lernen durch Experimentieren die selbstständige und aktiv konstruierende Erschließung neuen Wissens. Die meisten Forschungsansätze zum selbstregulierten Lernen beziehen sich auf die Regulation von Lernprozessen beim Lernen mit Texten und fokussieren dementsprechend textbasierte Lernstrategien (vgl. z.B. Artelt, 2000; Baumert, Heyn & Köller, 1992; Baumert & Köller, 1996; Friedrich & Mandl, 1997; Leutner & Leopold, 2006; Lonka, Lindblom-Ylänne & Maury, 1994; Schlagmüller & Schneider, 1999; Wild & Schiefele, 1994).

Dem Prinzip des selbstregulierten Lernens kann jedoch eine lernformübergreifende Gültigkeit zugeschrieben werden, da beispielsweise metakognitive Strategien, wie die Planung eines Lernprozesses, bei jeglichem Lernen eine Rolle spielen. Bei konkreten kognitiven Strategien hingegen gibt es qualitative Unterschiede in Abhängigkeit davon, ob sie für das Textlernen oder für das experimentierende Lernen geeignet sind (vgl. Abschnitte 2.2.2.2 und 2.2.3.1).

Im Kontrast zu den Forschungsansätzen des selbstregulierten Lernens schreiben bereits frühere Forschungsansätze zum entdeckenden Lernen (z.B. Bruner, 1961, 1970) den Komponenten des experimentierenden Lernens ein stärkeres Gewicht zu, wie zum Beispiel dem Bilden und Testen von Hypothesen. Dafür vernachlässigen die älteren Ansätze des entdeckenden Lernens die adaptive Komponente des selbstregulierten Lernens, da sie sie nicht explizit als integralen Bestandteil berücksichtigen (z.B. Dunbar, 1993; Glaser, Schauble, Raghavan & Zeitz, 1992; Klahr & Dunbar, 1988).

Aktuellere Arbeiten integrieren den selbstregulativen Aspekt jedoch in das Konzept des entdeckenden Lernens durch Experimentieren (z.B. Veenman, Prins & Elshout, 2002; Veenman & Spaans, 2005; vgl. auch Veenman & Elshout, 1995). Beispielsweise werden metakognitives Wissen und metakognitive Fertigkeiten als selbstregulatorische Aktivitäten betrachtet, denen sowohl für Lernprozesse generell als auch für entdeckend-experimentierende Lernprozesse eine zentrale Rolle zugeschrieben wird (vgl. auch de Jong & van Joolingen, 1998; Rivers & Vockel, 1987). Verlauf und Erfolg selbstregulierten Lernens beim Experimentieren hängen dabei von konkreten Maßnahmen in Form des Einsatzes kognitiver und metakognitiver Strategien ab. Darüber hinaus wird selbstreguliertes Lernen durch motivationale Variablen bestimmt, die darüber entscheiden, ob und mit welcher Intensität welche Lernaktivitäten gezeigt und aufrechterhalten werden.

Die in der vorliegenden Arbeit zu untersuchende Lernform beinhaltet zum einen Komponenten des entdeckenden Lernens durch Experimentieren: Lernende experimentieren, indem sie bestimmten unabhängigen Variablen bestimmte Ausprägungen zuweisen (input) und dadurch wiederum bestimmte Ausprägungen in den abhängigen Variablen als Ergebnis (output) erzeugen. Durch Beobachtungen dieser Ergebnisse ergeben sich neue Informationen, auf deren Basis sich Schlussfolgerungen anschließen und neue Hypothesen über Zusammenhänge zwischen Variablen gebildet werden können. Diese können als Grundlage für die Planung und Durchführung weiterer Experimente genutzt werden. Zum anderen gehen in die in der vorliegenden Arbeit zu untersuchende Lernform Komponenten des selbstregulierten Lernens ein: Lernende planen durch das Setzen von Zielen, sie überwachen durch Verständnis- und Zielerreichungskontrolle, sie evaluieren durch die Bewertung des Lernfortschritts und sie regulieren durch situations- und aufgabenadaptive Aktivitäten ihren eigenen Lernprozess. Lernbezogene Handlungen und Kognitionen orientieren sich an dem aktuellen Zustand in einer Lernumgebung und am aktuellen Wissensstand des Lernenden (vgl. Leutner, 1992, 1995; Schreiber, 1998).

Basierend auf diesen Überlegungen, dass entdeckendes Lernen durch Experimentieren untrennbar mit selbstreguliertem Lernen verwoben ist, werden im

Rahmen der vorliegenden Arbeit beide Konzepte zum Begriff des *selbstreguliert-entdeckenden Lernens* kombiniert.

## **2.3 Weitere Einflussfaktoren des selbstreguliert-entdeckenden Lernens**

Die Verlaufsart und der Erfolg selbstreguliert-entdeckenden Lernens werden sowohl von einem systematischen Einsatz kognitiver und metakognitiver Strategien als auch von kognitiven Grundfähigkeiten, vom Vorwissen und von motivationalen Variablen determiniert. Inwiefern diese Variablen einen Einfluss auf selbstreguliert-entdeckende Wissenserwerbsprozesse ausüben, soll im Folgenden näher behandelt werden. Dabei wird zunächst der Aspekt der Intelligenz betrachtet, bevor auf das Vorwissen und die Motivation eingegangen wird.

### **2.3.1 Intelligenz und selbstreguliert-entdeckendes Lernen**

Die meisten frühen Intelligenzdefinitionen schreiben der Intelligenz einen bedeutsamen Einfluss auf die Bewältigung von Situationen zu, wie zum Beispiel Binet und Simon (1905), die als erste einen standardisierten Intelligenztest entwickelten. Stern (1912) akzentuiert die Neuartigkeit von zu bewältigenden Situationen und definierte Intelligenz als „...*die allgemeine Fähigkeit eines Individuums, sein Denken bewusst auf neue Forderungen einzustellen; sie ist die allgemeine geistige Anpassungsfähigkeit an neue Aufgaben und Bedingungen des Lebens*“ (S. 3). Guthke und Wiedl (1996), sowie Stern (2001) begreifen Intelligenz als das Potenzial an kognitiven Grundfähigkeiten für den Wissenserwerb. Zwischen „allgemeiner“ Intelligenz (*general factor of intelligence* = *g-factor*; z.B. Jensen, 1980; Neisser et al., 1996), welche unterschiedliche Aspekte der Intelligenz repräsentiert, und akademischen Leistungen werden typischerweise Korrelationen um  $r = .50$  erzielt (Gustafsson & Undheim, 1996; Spinath, Spinath, Harlaar & Plomin, 2006).

Die *triarchische Intelligenztheorie* von Sternberg (1985, 1984) besteht aus drei Subtheorien, von denen sich die so genannte Komponenten-Subtheorie auf intelligente Prozesse des Wissenserwerbs bezieht. Diese Komponenten-Subtheorie unterscheidet intern wiederum Meta-, Wissenserwerbs- und Performanzkomponenten. *Metakomponenten*, welche sich als metakognitive Strategien begreifen lassen (vgl. Prins, Veenman & Elshout, 2006; Veenman & Beishuizen, 2004), sind nach Sternberg (1985, 1984) essentielle Faktoren der menschlichen Intelligenz und werden von Sternberg (2005) auch als exekutive Prozesse bezeichnet. Sie umfassen beispielsweise das Planen, Überwachen und Evaluieren von Problemlöse- oder Wissenserwerbsprozessen. *Performanzkomponenten* werden als kognitive Prozeduren beschrieben, welche (wie kognitive Strategien) die „Instruktionen“ der Metakomponenten

ausführen. Dazu zählen beispielsweise Enkodier- und Speicherprozesse, kognitive Vergleichsprozesse, argumentatives Antwortverhalten sowie induktives Denken (Klauer, 2001), bei dem aus der beobachteten Wechselwirkung zwischen Variablen die Art ihres Zusammenhanges geschlussfolgert wird. Schließlich führt Sternberg (1985, 1984) die *Wissenserwerbskomponenten* an, welche dem Erwerb deklarativen und prozeduralen Wissens dienen: Selektives Enkodieren ist die Trennung relevanter von irrelevanten Informationen. Selektives Vergleichen meint das Zurückgreifen auf bereits vorhandenes Wissen im Zuge eines aktuellen Wissenserwerbs oder einer Problembearbeitung. Schließlich bezieht sich selektives Kombinieren auf das Zusammenfügen selektiv enkodierter und verglichener Informationen für eine einsichtsvolle Aufgabenlösung.

Während Brown (1987) Metakognition als eine wichtige Determinante für erfolgreiches Lernen im Allgemeinen betrachtet, hebt Veenman (1993) insbesondere die Bedeutung der Metakognition für erfolgreiches experimentierendes Lernen hervor, wodurch das Variieren der Ausprägungen unabhängiger Variablen deren potenzieller Einfluss auf abhängige Variablen beobachtet und die Relationen zwischen den Variablen geschlussfolgert werden können (de Jong & van Joolingen, 1998). Aufgrund der Komponente des Ziehens von Schlussfolgerungen aus Beobachtungen wird dieser Lernprozess nicht nur als entdeckendes Lernen durch Experimentieren, sondern auch als induktives Lernen (Holland et al., 1986) bezeichnet (vgl. S.15). Induktives Denken wird selbst wiederum vielfach als zentrale Komponente der Intelligenz betrachtet (Horn & Cattell, 1966a; Klauer, 2001; Meincke & Sydow, 1985; Spearman, 1923; Undheim & Gustafsson, 1987). Klauer (2001) grenzt induktives Denken von *induktivem Schließen* ab. Induktion ist zwar der Schluss von Einzelfällen auf allgemeine Gesetzmäßigkeiten, aber ein induktiver Schluss lässt nur Wahrscheinlichkeitsaussagen zu. Deshalb beschränkt sich induktives Denken als das Entdecken von Regelmäßigkeiten nach Klauer (2001) zunächst auf einen aktuellen Fall, ohne eine Generalisierung auf alle Fälle voraussetzen zu können.

Wie beispielsweise Veenman und Elshout (1995, 1999) experimentell zeigen konnten, wird der Erfolg induktiver Lernprozesse sowohl durch kognitive als auch durch metakognitive Fähigkeiten entscheidend beeinflusst. Insbesondere die Betrachtung der triarchischen Theorie der Intelligenz (Sternberg, 1985) führt zu der gerechtfertigten Annahme, dass Metakognition wiederum eine entscheidende Komponente menschlicher Intelligenz ist (vgl. Prins, Veenman & Elshout, 2006; Veenman & Beishuizen, 2004). Ähnlich stufen auch Das, Naglieri und Kirby (1994) in ihrer Intelligenztheorie (*The planning, attention, simultaneous, and successive (PASS)-theory of intelligence*) selbstregulatorische Wissenserwerbsprozesse als wichtige Bestandteile der Intelligenz ein. Unterstützend fanden Zimmerman und Martinez-Pons (1990; vgl. Hannah & Shore, 1995) in ihrer Studie, dass hochbegabte Schüler signifikant häufiger Strategien des

selbstregulierten Lernens nutzten als durchschnittlich begabte. Auch Kröner (2001) findet in seiner Arbeit zur Intelligenzdiagnostik mit einer computerbasierten Lernumgebung mit fiktivem Inhaltsbereich bedeutsame Zusammenhänge zwischen Intelligenz und der kognitiven Lernstrategie der isolierenden Variablenkontrolle.

*Einschränkende Bedingungen – für Zusammenhänge zwischen Intelligenz und Lernleistung.* Eine hohe gemessene Intelligenz bedeutet nicht automatisch, dass metakognitives Strategiewissen in einem Lernprozess effizient angewendet wird. So zeigen beispielsweise Veenman und Elshout (1999) in ihrer Arbeit auf, dass oftmals nur geringe Beziehungen zwischen dem Wissen über und der Anwendung von metakognitiven Strategien vorliegen. Erklärend teilen Paris et al. (1983; vgl. Garner, 1990) metakognitives Strategiewissen in drei Arten ein und argumentieren, dass bloßes Wissen über die Existenz von Strategien (1. deklaratives Strategiewissen) und die Kenntnis über deren Anwendungsart (2. prozedurales Strategiewissen) noch kein Wissen über adäquate Bedingungen für ihre Anwendung (3. konditionales Strategiewissen) bedeutet.

Ein weiterer Grund, warum sich nicht immer bedeutsame Zusammenhänge zwischen metakognitivem Strategieeinsatz und kognitiven Grundfähigkeiten finden lassen, kann nach Prins, Veenman und Elshout (2006) die Komplexität der verwendeten Aufgabe sein. Die Argumentation der Autoren ist an Elshout (1987) und Raaheim (1988) angelehnt, die einen kurvilinearen Zusammenhang zwischen Effekten der Intelligenz auf die Leistung und dem Verhältnis zwischen Komplexität der Aufgabe und aufgaben- oder domänenspezifischem Wissen der Personen annehmen (vgl. Leutner, 2002; Veenman, Prins & Elshout; 2002). So konnten Prins, Veenman und Elshout (2006) ebenfalls für die Effekte von metakognitiver Strategienutzung auf die Leistung eine weitgehend kurvilineare Abhängigkeit vom Verhältnis zwischen Komplexität der Aufgabe und aufgabenspezifischem Wissen der Person zeigen. Die Einflüsse intellektueller Fähigkeiten und der Nutzung metakognitiver Strategien auf den Lernerfolg schwinden also, wenn die Aufgabenkomplexität die Schwelle des aufgabenspezifischen Wissens deutlich unter- oder überschreitet: Hat eine Person gemessen an der Aufgabenkomplexität sehr viel Vorwissen, ist selbstreguliert-entdeckendes Lernen mit intelligenter, metakognitiver Strategienutzung kaum nötig, da die Aufgabe in diesem Fall über das Vorwissen lösbar ist. Hat hingegen eine Person gemessen an der Aufgabenkomplexität zu wenig Vorwissen, ist selbstreguliertes Lernen mit intelligenter, metakognitiver Strategienutzung kaum möglich, da die Vorwissensbasis für intelligentes Bilden und Testen von Hypothesen fehlt (vgl. Klahr & Dunbar, 1988; Küsting et al., im Druck). Zu komplexe Aufgaben können auch dazu führen, dass Lerner Bemühungen um den Einsatz metakognitiver Strategien als aussichtslos empfinden. Somit sind die stärksten Zusammenhänge zwischen Leistung und Intelligenz (bzw. metakognitiver

Strategienutzung) am ehesten bei einem ausgeglichenen Verhältnis zwischen Vorwissen und Aufgabenkomplexität zu erwarten (siehe auch Leutner, 2002).

*Fazit.* Prozesse des selbstreguliert-entdeckenden Lernens unterliegen in ihrer Verlaufsart, insbesondere hinsichtlich der Nutzung kognitiver und metakognitiver Strategien, bedeutsam dem Einfluss von Intelligenz. Die Effekte intelligenter Lernprozessregulation über den Einsatz metakognitiver Strategien auf den Lernerfolg zeigen sich jedoch kaum oder gar nicht, wenn das Komplexitätsniveau einer Aufgabe gemessen am aufgabenspezifischen Vorwissen der Person deutlich zu hoch oder zu niedrig ist. Der Erfolg induktiven Denkens beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren hängt bedeutsam von metakognitiven Fähigkeiten ab, wobei nach Veenman und Elshout (1999) induktives Denken und Metakognition wiederum selbst durch Intelligenz beeinflusst werden. Für einige Forscher sind induktives Denken und Metakognition sogar zentrale Komponenten der Intelligenz (vgl. z.B. Prins et al., 2006). Danach sollten Einflüsse der Intelligenz auf den strategischen Verlauf und den Erfolg selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren substantiell sein.

### **2.3.2 Vorwissen und selbstreguliert-entdeckendes Lernen**

Wie groß die Effekte von Intelligenz und metakognitivem Strategieeinsatz auf den Erfolg des selbstregulierten Lernens sind, wird durch Vorwissen beeinflusst. Vorwissen, welches als das deklarative und prozedurale Wissen einer Person über eine bestimmte Domäne vor Beginn eines Lernprozesses definiert wird (Alexander, 1992), hat sich in der Vergangenheit immer wieder als wesentlicher Prädiktor für den Lernerfolg erwiesen (z.B. Byrnes, 1995; Leutner, 1992; Schrader & Helmke, 1989; Weinert, 1989). Schneider, Körkel und Weinert (1989) verglichen kognitive Grundfähigkeiten mit domänenspezifischen Wissensunterschieden als Prädiktoren für Gedächtnisleistung und Textverständnis. Im Ergebnis zeigt sich, dass geringe Intelligenz durch hohes domänenspezifisches Vorwissen kompensiert werden kann: Experten mit geringen kognitiven Grundfähigkeiten schnitten im abschließenden Test immer noch besser ab als Novizen mit hohen kognitiven Grundfähigkeiten (vgl. Byrnes, 1995).

Wie gut Lernende neue Informationen verarbeiten, hängt davon ab, inwieweit sie mit dem bestehenden Wissensnetz verknüpft werden können. Renkl (1996b) beschreibt hierzu eine positive Rückkopplung, welche üblicherweise als *Matthäuseffekt* bezeichnet wird. Danach lernen Personen mit hohem Vorwissen im Zuge der Bearbeitung einer Aufgabe deutlich mehr dazu als Personen mit geringem Vorwissen. Je größer die Vorwissensbasis ist, in welche neu zu erlernende Informationen integriert werden können, desto größer ist am Ende des Lernprozesses das Ausmaß an erworbenem Wissen. Dieser Effekt steht trotz seiner Plausibilität im (scheinbaren) Widerspruch zu der



gleichwertigen Annahme, dass nichts über eine Aufgabe dazu gelernt werden kann, wenn schon alles über sie gewusst wird. Renkl (1996b) klärt dies mit der Notwendigkeit auf, wie Alexander, Kulikowich und Schulze (1994), zwischen domänenspezifischem und themenspezifischem Vorwissen zu unterscheiden. Während unter domänenspezifischem Vorwissen allgemeinere Wissensbestände zu einem bestimmten, relativ weit gefassten Fachgebiet verstanden werden (z.B. Physik, Kunst oder Sport), wird themenspezifisches Vorwissen als das spezifischere Wissen über einen relativ konkreten Inhaltsbereich als untergeordneter Teil einer Domäne aufgefasst (z.B. „Auftrieb in Gasen“ als Thema der Domäne Physik; vgl. Renkl, 1996b). Personen mit sehr hohem Themenwissen können nicht mehr viel über das Thema dazulernen, so dass der größte Lernfortschritt bei geringem Vorwissen über ein zu erlernendes Thema und bei hohem Vorwissen über die Domäne, in die das zu erlernende Thema eingebettet ist, zu erwarten ist.

Im Rahmen der in der Lehr-Lernforschung weithin geteilten Annahme, dass Lernprozesse ein konstruktiver Akt sind, verdeutlicht Renkl (1996b) die Relevanz von Vorwissen innerhalb eines Modells, welches das menschliche Gedächtnis als Mehrspeichermodell mit mehreren Subsystemen zugrunde legt. Anhand dessen teilt er die Informationsverarbeitung in Phasen ein (vgl. Atkinson & Shiffrin, 1968). Während der *Informationsselektion* erleichtert Vorwissen die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf relevante Aspekte des zu lernenden Materials. Ein hohes Vorwissen fungiert als aufmerksamkeitslenkende, strukturelle Wissensbasis, die nur noch vervollständigt werden muss. Das *Enkodieren von Informationen* wird durch Vorwissen unterstützt, indem dieses als kognitives Schema dient, in das neu eingehende Informationen eingeordnet werden können. Dabei wird die Menge an aufnehmbaren Informationen erhöht, wenn diese zu übergeordneten Einheiten zusammengefasst werden (*chunking*). Ebenfalls kann bei Personen mit hohem Vorwissen die Informationsaufnahme dadurch beschleunigt werden, dass ein Teil des zu Lernenden bereits enkodiert ist, was wiederum das Ausmaß an notwendigen Verstehensprozessen reduziert.

Bei der *Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis* (Baddeley, 1986) sind Probanden mit hohem Vorwissen im Vorteil, weil sie neue Informationen in bereits bestehende Wissensseinheiten oder *chunks* einordnen können. Da das Arbeitsgedächtnis nur eine beschränkte Menge von Informationen simultan aufrechterhalten kann (Miller, 1956; Baddeley, 1986), ist die verarbeitbare Informationsmenge umso größer, je mehr einzelne Informationen zu jeweils sinnvollen Einheiten zusammengefasst sind. Zur *Speicherung von Informationen im Langzeitgedächtnis* trägt ein hohes Vorwissen durch die Möglichkeit der Integration neuer Informationen in bereits vorhandene Schemata bei, was den neuen Informationen zugleich Sinn zuweist. Schließlich werden der *Abruf und die Nutzung von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis* durch die Integration in eine reichhaltige Vorwissensbasis gefördert: Hierdurch entstehen assoziative Verknüpfungen

mit semantisch benachbarten Wissens-elementen, was die Anzahl der Bahnungen für den Abruf von Informationen vergrößert. Zudem ist bei hohem Vorwissen eher als bei geringem Vorwissen zu erwarten, dass es Wissen um Anwendungsbedingungen enthält, was den anforderungsadaptiven Abruf konditionalen Wissens begünstigt.

Auch bei der Untersuchung der Nutzung von Lernstrategien beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen in Experimentierumgebungen mit einem realen Inhaltsbereich sind domänenspezifische Vorwissenseffekte nicht auszuschließen (z.B. Süß, 1996). Es ist zudem davon auszugehen, dass domänenspezifisches Vorwissen die Nutzbarkeit von Strategien und ihren Einfluss auf den Lernerfolg beeinflusst (vgl. Baumert & Köller, 1996; Künsting et al., im Druck; Schraagen, 1993). Erfolgreiches selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren bedarf eines ausreichenden Vorwissens, um geeignete Hypothesen aufstellen und durch strategische Experimente überprüfen zu können (vgl. Klahr & Dunbar, 1988; Schunn & Anderson, 1999). Vorwissen fungiert demnach als Moderator für den Zusammenhang zwischen Strategieeinsatz und Lernerfolg (Künsting et al., im Druck). Hohe Zusammenhänge zwischen Vorwissen und Lernerfolg können jedoch nicht allein über vorwissensspezifische Effekte auf die Informationsverarbeitung erklärt werden (Renkl, 1996b), da die Varianz von Lernerfolg ebenfalls vom Zusammenspiel von Vorwissen mit Intelligenz und Motivation abhängt (z.B. Helmke, 1992; Renkl & Stern, 1994).

*Einschränkende Bedingungen – ausbleibende Vorwissenseffekte.* Im Hinblick auf die Bedingungen, unter denen Vorwissen nur geringfügig oder gar nicht für einen aktuellen Lernprozess genutzt wird, ist das Konzept des *trägen Wissens* (Whitehead, 1929) ein in der pädagogisch-psychologischen Forschung etabliertes Konzept (vgl. Renkl, 1996a). Gemeint ist mangelnder oder ganz ausbleibender Wissenstransfer von dem Kontext, in dem das Wissen erworben wurde, auf einen anderen Kontext. Schulwissen wird beispielsweise häufig nur defizitär oder gar nicht in außerschulischen Kontexten angewendet (vgl. Bransford, Goldman & Vye, 1991).

Renkl (1996a) führt drei wesentliche Kategorien an, die das Phänomen des trägen Wissens erklären: Metaprozesserklärungen, Strukturdefiziterklärungen und Situiertheitserklärungen. *Metaprozesserklärungen*, sehen in metakognitiven (Paris et al., 1983), motivationalen (Wild, Krapp & Winteler, 1992) und volitionalen Defiziten (vgl. Kuhl, 1987) sowie in ungünstigen Kosten-Nutzen-Abwägungen und in dysfunktionalen epistemologischen Überzeugungen (Perkins & Simmons, 1988; Schommer, 1993) die verantwortlichen Faktoren für die ausbleibende Nutzung adäquaten Vorwissens. Wenn bei einer Aufgabenbearbeitung nicht auf relevantes Vorwissen zurückgegriffen wird, weil es einem anderen Kontext zugewiesen ist, kann es das Lernen auch nicht unterstützen. Das als Wissenskompartimentalisierung bekannte Phänomen kontextuell separat

abgespeicherter Gedächtnisinhalte in unterschiedlichen „Schubladen“ kann dazu führen, dass vorhandene Verknüpfungen zwischen einzelnen Wissenseinheiten übersehen werden, so dass ein Wissenstransfer ausbleibt (Renkl, 1996b). *Strukturdefiziterklärungen* beziehen sich auf qualitative Mängel im Zustand von Vorwissen. Bei Mängeln im Verständnis der semantischen Struktur des Wissens oder in der Kompilierung (Übertragung deklarativen Wissens in effektives Handlungswissen) kann Wissensanwendung ausbleiben. Auch unter den Strukturdefiziterklärungen führt Renkl (1996a) die Wissenskompartimentalisierung an, betont hier aber bezugnehmend auf Mandl, Gruber und Renkl (1993), dass korrekte, über einen Inhaltsbereich erlernte Konzepte schon bestehende inkorrekte Konzepte oft nicht ersetzen, sondern neben ihnen abgespeichert werden. In Anwendungssituationen besteht dann die nachteilhafte Tendenz, auf die älteren und somit vertrauteren, aber inkorrekten Konzepte zurückzugreifen (Renkl, 1996b). Deshalb kann Vorwissen, das aktuell zu erwerbenden Konzepten widerspricht, den Wissenserwerb sogar behindern.

Im Zusammenhang mit dieser Art von Vorwissen wird auch von Fehlkonzepten (z.B. Vosniadou, 1994b) gesprochen. Sie beruhen auf Vorstellungen, die mit jeweils aktuell anerkannten Konzepten nicht kompatibel sind (Renkl, 1996b)<sup>3</sup>. Beispielsweise fand Pazzani (1991) mit einer Reihe von Experimenten, dass der konzeptuelle Wissenserwerb bedeutsam durch die Konsistenz mit Vorwissen beeinflusst wird: Vorwissenskonsistente Konzepte wurden bedeutsam leichter erlernt als vorwissensinkonsistente Konzepte. Zudem wurden bevorzugt vorwissenskonsistente, statt vorwissensinkonsistente Hypothesen zu diesen Konzepten aufgestellt. Funke (1992) zeigte, dass die Bearbeitungsleistungen von Probanden in einem computersimulierten komplexen System bedeutsam durch Vorwissenskonsistenz beeinflusst werden: Es wurden zwei semantisch gleiche Systeme kontrastiert, deren Simulation einmal dem Vorwissen der Probanden entsprach und ein anderes Mal nicht. Die Probanden der vorwissensinkonsistenten Bedingung erbrachten sowohl im Erwerb als auch in der Anwendung von Wissen eine bedeutsam schlechtere Leistung als die Probanden in der vorwissenskonsistenten Bedingung (vgl. Süß, Kersting & Oberauer, 1993). Ebenfalls fanden Nelson (1986) und Ornstein et al. (1998), dass mit Vorwissen konsistentes Lernmaterial die Gedächtnisleistung begünstigte (für einen Überblick siehe Elischberger, 2005). *Situiertheitserklärungen* nehmen schließlich Bezug auf den Ansatz der *situierten Kognition* (z.B. Clancey, 1993; Greeno, Smith & Moore, 1993), der die

---

<sup>3</sup> Auch das Konzept der *Assimilation* (Piaget, 1974, 1983) kann als Erklärung dafür dienen, warum Vorwissen das Lernen negativ beeinflussen kann: Bei der Assimilation ordnet ein Individuum Informationen aus der Realität in seine aktuelle kognitive Organisation (Vorwissensbasis) ein. Diese sollte aufgrund ihrer Vernetzung mit semantisch benachbarten Strukturen eine hohe Abrufwahrscheinlichkeit besitzen und als Verstehens- und Interpretationshilfe für neue Informationen und ihre Zusammenhänge herangezogen werden. Besteht diese Vorwissensbasis aus Fehlkonzepten, werden neu eingehende Informationen in falsche Zusammenhänge eingeordnet, was zu fehlerhaften Schlussfolgerungen führen kann.

extreme Position einer spezifisch kontextualisierten Repräsentation von Wissen vertritt. Hiernach ist Wissen relational an den Kontext gebunden, in dem es erworben wurde, und kann nicht auf andere Kontexte angewandt werden.

Schließlich ist eine einschränkende Bedingung, dass der Einfluss von Vorwissen auf das Lernen im Verlauf eines Wissenserwerbsprozesses sinkt. In dem Maße, in dem vorhandene Wissensstrukturen um neue ergänzt werden, neigen Lerner dazu, diese neuen Wissensstrukturen für den weiteren Wissenserwerb aktiv zu halten. Es kann ein allmählicher Übergang vom Vorwissen als anfängliche Integrationsbasis zu aktuell neu erworbenem Wissen als weitere Integrationsbasis für folgende Wissenserwerbsprozesse angenommen werden (Süß et al., 1993).

*Fazit.* Vorwissen spielt für die beim Wissenserwerb resultierenden Leistungen eine beachtliche Rolle, was empirisch vielfach gezeigt werden konnte. Die Kombination von hohem domänenspezifischen und geringem themenspezifischen Vorwissen begünstigt den Lernerfolg: Ein hohes domänenspezifisches Vorwissen ist eine Voraussetzung für das Aufstellen geeigneter Hypothesen und für die Nutzbarkeit von Lernstrategien. Bei geringem themenspezifischen Vorwissen verbleibt genügend Wissen, das zu einem bestimmten Thema noch hinzugelernt werden kann. Dies ist unter der Einschränkung zu sehen, dass träges Vorwissen die Leistung kaum fördert und auf Fehlkonzepten basierendes Vorwissen den Wissenserwerbsprozess sogar behindern kann. Mit zu erlernenden Informationen konsistentes Vorwissen kann den Wissenserwerb erleichtern, wohingegen inkonsistentes Vorwissen das Lernen eher erschwert. Die Gesamtvarianz von Lernleistungen wird jedoch nicht allein durch Vorwissenseffekte erklärt, sondern ebenfalls durch das Zusammenspiel von Vorwissen, Intelligenz und Motivation.

### **2.3.3 Motivation und selbstreguliert-entdeckendes Lernen**

Schneider (1996) moniert zu Recht, dass viele Konzeptionen des selbstregulierten Lernens die Rolle der Motivation innerhalb des selbstregulierten Wissenserwerbs zugunsten metakognitiver und kognitiver Variablen vernachlässigen (vgl. Garcia & Pintrich, 1994; Zimmerman, 1989). Mittlerweile wurden motivationale Komponenten jedoch häufiger als integrale Bestandteile im Prozess des selbstregulierten Wissenserwerbs berücksichtigt (z.B. Boekaerts, 1999; Moos & Azevedo, 2006; Pintrich, 1999, 2000; Schiefele & Pekrun, 1996; Winne & Hadwin, 1998).

Motivation kann sowohl quantitativ als auch qualitativ differenziert werden. Ein Lerner kann beispielsweise eine starke oder schwache Aufgaben- oder Lernmotivation besitzen, welche als Intensität der Absicht oder des Wunsches zu verstehen ist, eine Aufgabe zu bearbeiten beziehungsweise etwas zu lernen. Neben der Einteilung in Intensitätsgrade der Motivation sind unterschiedliche Orientierungen oder Arten der Motivation

(*orientations of motivation*) unterscheidbar (Ryan & Deci, 2000). Die Einteilung in unterschiedliche Orientierungen der Motivation impliziert, dass Handlungen aus unterschiedlichen Gründen erfolgen können. Eine weithin etablierte Einteilung ist die Unterscheidung von intrinsischer und extrinsischer Motivation (Deci & Ryan, 1985; Rheinberg, 1989; Schiefele, 1996). *Intrinsische Motivation* ist die Intention oder der Antrieb, eine Handlung um ihrer selbst willen durchzuführen, weil sie an sich als interessant, unterhaltsam oder spannend erlebt wird. Nach Csikszentmihalyi (1990, 1999b) werden intrinsisch motivierte Handlungen von einem Flow-Erleben begleitet, das als ein reflexionsfreies, selbst- und zeitvergessenes sowie vollständiges Aufgehen in einer fließend ablaufenden Tätigkeit beschrieben wird, bei der Handlung und Bewusstsein eine Einheit bilden. Die Handlungsanforderungen weisen dabei eine optimale Passung zur Fähigkeit der Person auf, die ihre Aufmerksamkeit ohne bewusste Anstrengung nur auf die aktuelle Handlung selbst zentriert, unter Beibehaltung der Kontrolle über Handlung und Umwelt (vgl. auch Rheinberg, Vollmeyer & Engeser, 2003). Allerdings zeigen sich für gewöhnlich allenfalls schwache bis moderate Korrelationen zwischen Maßen intrinsischer Motivation und Schulleistung von etwa  $r = .30$  (z.B. Gottfried, 1985, 1990). *Extrinsisch Motivierte* hingegen streben bei der Durchführung von Handlungen Konsequenzen an, die außerhalb der Handlungen selbst liegen. Die extrinsisch motivierte Durchführung einer Handlung hat damit eine instrumentelle Funktion, so dass an Stelle der Handlung selbst die antizipierte Handlungsfolge als Antrieb für ein bestimmtes (extrinsisch motiviertes) Verhalten fungiert.

Ansätze zur intrinsischen Lernmotivation führen in der Regel das Lernen aus *Interesse* am Inhalt als wesentliche Komponente an (Schiefele, 1996). Nach Todt (1985) ist Interesse ein dispositionales Persönlichkeitsmerkmal, also eine relativ generalisierte und stabile Handlungstendenz, die sich auf bestimmte Gegenstands- oder Tätigkeitsbereiche bezieht. Allerdings räumt Schiefele (1996) in seiner theoretischen Auffassung von Interesse ein, dass Interesse sowohl überdauernd und unspezifisch als auch temporär und spezifisch sein kann. Das Wissen einer Person über den Gegenstand ihres Interesses (die kognitive Komponente des Konstrukts Interesse; H. Schiefele et al., 1983), wird vom Konzept des Interesses abgegrenzt, da Wissen sowohl Bedingung als auch Folge von Interesse sein kann (vgl. Krapp, 1992). Beibehalten wurden aber die emotionale Komponente (*gefühlsbezogene Valenz* - das mit einem interessierenden Sachverhalt verbundene Gefühl) und die wertbezogene Komponente (*wertbezogene Valenz* - der Rang, den der Interessensgegenstand in der individuellen Wertehierarchie einnimmt; Pekrun, 1988; Schiefele, 1996). Gemäß der viel beachteten *Person-Gegenstands-Theorie* innerhalb der Interessensforschung (Krapp, 1998; Schiefele, 1996) kann *individuelles Interesse* entstehen, wenn die Beschäftigung mit einem Sachverhalt oder Gegenstand zunächst zu einem situationalen Interesse führt und sich

unter interessenverstärkenden Voraussetzungen zu einem relativ stabilen Personenmerkmal weiterentwickelt. Metaanalysen zeigen Korrelationen von etwa  $r = .30$  zwischen Leistung und fachspezifischem Interesse im schulischen Kontext (Schiefele, Krapp & Winteler, 1992), wobei die Arbeit von Baumert, Schnabel und Lehrke (1998) darauf hinweist, dass die Leistung das Interesse stärker beeinflusst als umgekehrt.

Rheinberg, Vollmeyer und Burns (2001) betonen, dass für die Vorhersage von Lern- und Leistungsverhalten die Wechselwirkung zwischen Personen- und Situationsfaktoren berücksichtigt werden muss (vgl. Lewin, 1946). Personenfaktoren stellen überdauernde und hochgeneralisierte Personenmerkmale dar, durch die Personen bestimmte Anreizklassen präferieren, und werden als *Motive* bezeichnet. Unter Situationsfaktoren sind situative Anregungsinhalte zu verstehen, die als Angebot für die motivspezifische Befriedigung von einer Situation bereitgestellt werden. Stimmen die Anregungsinhalte der Situation mit der Motivstruktur der Person überein, resultiert die *aktuelle Motivation*. Rheinberg et al., (2001) heben hervor, dass nicht die Motive, sondern nur die aktuelle Motivation einen *direkten* Einfluss auf Lern- und Leistungsverhalten hat (vgl. Heckhausen, 1989; Schneider & Schmalt, 2000).

**Fazit.** Motivation ist eine zentrale Komponente in Lernprozessen. Ihr Ausmaß bezeichnet die Intensität der Absicht oder des Wunsches, etwas zu lernen oder eine Aufgabe zu bearbeiten. Intrinsisch motivierte Lerner führen Lernhandlungen um ihrer selbst willen durch, während extrinsisch motivierte Lerner die Konsequenzen von Lernhandlungen anstreben. Es ist zu erwarten, dass ein minimales Ausmaß an Motivation notwendig ist, damit Lernprozesse aktiv vom Lerner initiiert werden und erfolgreich sind (vgl. auch Deci & Ryan, 2000). Obwohl bei intrinsischer Motivation aus eigenem Interesse für den Inhalt gelernt wird, zeigt die Befundlage nur moderate Zusammenhänge zwischen Maßen intrinsischer Motivation und schulischen Lernleistungen, was auch für Maße des Interesses gilt. Dabei beeinflusst die Leistung das Interesse tendenziell stärker als umgekehrt. Die *aktuelle Motivation*, die entsteht, wenn die stabilere Motivstruktur einer Person mit spezifischen Anregungsinhalten einer Lernsituation übereinstimmt, sollte einen direkten Einfluss auf Lern- und Leistungsverhalten ausüben.

## **2.4 Zielorientierungen und selbstreguliert-entdeckendes Lernen**

Internale (personenimmanente) Zielorientierungen<sup>4</sup> können als motivationale Variablen die Verlaufsart selbstregulierten Lernens beeinflussen (vgl. Ames & Archer, 1988; Dweck & Leggett, 1988; Stiensmeier-Pelster & Schlangen, 1996). Pintrich (1999; vgl. Boekaerts,

---

<sup>4</sup> In der vorliegenden Arbeit wird von *internalen Zielorientierungen* gesprochen, wenn innerhalb von Personen vorhandene Zielorientierungen gemeint sind. Wird hingegen der Begriff *externe Zielvorgaben* verwendet, sind Ziele gemeint, die einer Person von außen vorgegeben werden.

1999; Garcia & Pintrich, 1994) prüfte in seiner Arbeit die Rolle dreier unterschiedlicher *motivationaler Überzeugungen (motivational beliefs)* für das selbstregulierte Lernen. Dabei unterschied er (1) Selbstwirksamkeitsüberzeugungen (die aufgabenspezifische Erfolgserwartung; *self-efficacy beliefs*), (2) Aufgabenwert-Überzeugungen (die Überzeugung hinsichtlich der Wichtigkeit der Aufgabe und hinsichtlich des Interesses für sie; *task value beliefs*) und Zielorientierungen (das Streben nach Lernzuwachs vs. das Streben nach sozialen Leistungsvergleichen; *goal orientations*). In den regressionsanalytischen Ergebnissen der Studie zeigte sich, dass die drei genannten motivationalen Überzeugungen sowohl die selbstregulierte Wissenserwerbsleistung als auch die selbstberichtete Nutzung kognitiver und metakognitiver Strategien signifikant vorhersagen können (z.B.  $\beta = .48$  für Lernzielorientierung als Prädiktor für die Nutzung von Elaborationsstrategien).

#### **2.4.1 Zielorientierung als Konstrukt**

Aus dem gegenwärtigen pädagogisch-psychologischem Forschungsfeld zu Zielorientierungen als motivationale Variablen lässt sich im Kern eine Dichotomie herauskristallisieren, in der Lernprozesse in einem Fall durch das Anstreben von Wissens- und Kompetenzerweiterung reguliert werden. Im anderen Fall regulieren Erwartungen an sekundäre Konsequenzen von Leistungen das Lernen. In der Literatur zur Leistungsmotivation (Nicholls, 1984) erweist sich die begriffliche Bezeichnung der beiden Pole dieser Dichotomie als heterogen, ohne jedoch Unterschiedliches zu bedeuten. Werden beispielsweise von Ames und Ames (1984; Ames & Archer, 1988) *Bewältigungs-* von *Leistungszielen (mastery goals vs. performance goals)* unterschieden, so konzeptualisiert Nicholls (1984, 1992) Aufgabenorientierung versus Ichorientierung (*task orientation vs. ego orientation*) und Dweck (1986; Dweck & Leggett, 1988) Lernziele versus Leistungsziele (*learning goals vs. performance goals*). Bei den drei zuletzt aufgeführten Dichotomien stehen die jeweils erstgenannten Pole (z.B. *Lernziele*) dafür, dass Lern- und Leistungssituationen als Möglichkeiten für den Zugewinn an Fertigkeiten, Wissen und Kompetenzen gesehen werden. Die jeweils zweitgenannten Pole (z.B. *Leistungsziele*) repräsentieren hingegen die Neigung, in Lern- und Leistungssituationen hohe Fähigkeiten zu demonstrieren beziehungsweise geringe Fähigkeiten verbergen zu wollen.

In Anlehnung an den entwicklungspsychologischen Ansatz von Nicholls (1984), der auch psychologisch-pädagogisch relevant ist, kann bei einer Lernzielorientierung das Vorherrschen einer *individuellen Bezugsnormorientierung* (Rheinberg, 1989; Skaalvik & Skaalvik, 2002) angenommen werden: Ein Lerngewinn wird mit eigenen früheren Leistungen verglichen (temporaler Vergleich), und die Kompetenzerweiterung steht im Vordergrund. Hingegen wird nach Nicholls (1984) bei einer Leistungszielorientierung

eine *soziale Bezugsnormorientierung* (Festinger, 1954; Möller & Köller, 1998, 2001; Skaalvik & Skaalvik, 2002) dominieren: Eigene Leistungen werden mit denen anderer Personen verglichen (sozialer Vergleich), und die Demonstration guter respektive das Verbergen schlechter Leistungen stehen im Vordergrund. Als Konsequenz aus diesen zwei Arten sozialer Vergleiche haben Elliot und Harakiewicz (1996) das Konzept der Leistungszielorientierung in *Annäherungs-Leistungszielorientierung* und *Vermeidungs-Leistungszielorientierung* aufgesplittet (*proving goal orientation* vs. *avoiding goal orientation*; vgl. Elliot, 1999; VandeWalle, Cron & Slocum, 2001; Wolters, 2004). Elliot und McGregor (2001) fügten noch die *Annäherungs-Lernzielorientierung* (so viel wie möglich zu lernen) und die *Vermeidungs-Lernzielorientierung* (vermeiden, weniger zu lernen als man könnte) hinzu, so dass insgesamt ein 2 x 2-Modell vorliegt.

*Zielorientierung und Leistung.* Einerseits zeigt sich, dass Leistungszielorientierte sich im objektiven Leistungsvermögen kaum von Lernzielorientierten unterscheiden (z.B. Dweck & Leggett, 1988). Andererseits gehen Elliot und Dweck (1988) davon aus, dass lernzielorientierte Personen zumindest potenziell eine bessere Leistung zeigen sollten als leistungszielorientierte Personen, da erstgenannte eine aktuelle Aufgabe stärker fokussieren, während sich Leistungszielorientierte leichter ablenken lassen. Ames und Archer (1988) fanden bei Lernzielorientierten beispielsweise einen effizienteren Strategieeinsatz als bei Leistungszielorientierten. Auch nach Biggs (1985) sollte eine hohe Lernzielorientierung von Schülern zu einem entsprechend hohen Lernerfolg führen, welcher über einen effizienten Lernstrategieeinsatz sowie ein hohes Ausmaß an Anstrengung und Persistenz vermittelt ist. Ein geringes akademisches Selbstkonzept der eigenen Begabung (Marsh, 1986) ist nach Stiensmeier-Pelster, Balke und Schlangen (1996) eine Bedingung, unter denen Lernzielorientierte höhere Lernleistungen zeigen als Leistungszielorientierte: Lernzielorientierte bewältigen eine Lernsituation nach Misserfolgen sowohl bei hohem als auch bei geringem Selbstkonzept der eigenen Begabung und weisen in beiden Fällen einen Lernfortschritt auf. Für Leistungszielorientierte gilt dies nur bei hohem Selbstkonzept der eigenen Begabung, während ein geringeres Selbstkonzept der eigenen Begabung zu Hilflosigkeit führen sollte (vgl. Dweck & Leggett, 1988; Eckert, Schilling, & Stiensmeier-Pelster, 2006).

*Zielorientierungen als stabile Personenmerkmale.* Unter Zielorientierungen werden zumeist zeitlich stabile Personenmerkmale verstanden, welche die situationsspezifische Lernmotivation beeinflussen. Eine bestimmte internale Zielorientierung einer Person kann zusammen mit spezifischen Situationsmerkmalen aber auch einen aktuellen Zustand der Leistungsmotivation auslösen (vgl. Elliot & Harakiewicz, 1996). Die Konzeptionen zu Zielorientierungen unterscheiden jedoch nicht klar zwischen Zielorientierungen als *habituelle* und Zielorientierungen als *dispositionale*



*Personenmerkmale* (Pekrun, 1988). Ein habituelles Merkmal ist eine Zielorientierung dann, wenn eine Person in Lernsituationen längerfristig und wiederholt bestimmte Ziele zu erreichen versucht. Ein dispositionales Merkmal ist eine Zielorientierung dann, wenn das Anstreben eines bestimmten Ziels dauerhaft und kontinuierlich im kognitiven System einer Person verankert ist. In der vorliegenden Arbeit werden Zielorientierungen als zeitlich stabile und tendenziell situationsübergreifende Personenmerkmale aufgefasst (vgl. Meece, Blumenfeld & Hoyle, 1988; Nicholls, 1992; Nolen, 1988), die in Abhängigkeit von der individuellen Person sowohl habituell als auch dispositional sein können. Dieser Stabilitätsannahme wird jedoch keine unumstößliche Strenge zugeschrieben, so dass Zielorientierungen nicht als *trait* (vgl. Allport, 1966; Mischel, 1971) im Sinne einer unveränderlichen psychischen Struktur begriffen werden, die transsituativ und konsistent das Verhalten in allen Situationen determiniert. Es ist beispielsweise davon auszugehen, dass Zielorientierungen bedeutsam mit Interesse (Schiefele et al., 1992) zusammenhängen. So wird ein Schüler mit einer allgemein stark ausgeprägten Lernzielorientierung an eine Aufgabe eines ihn nicht interessierenden Themas weniger lernzielorientiert herangehen als an Aufgaben, für die er sich stark interessiert.

*Fazit.* Zielorientierungen gelten als relativ stabile Personenmerkmale und werden in entsprechenden Forschungsansätzen als Dichotomie konzipiert, die sich prinzipiell als Lernziel- versus Leistungszielorientierung beschreiben lässt. Während lernzielorientierte Personen nach Wissens- und Kompetenzgewinn streben, suchen leistungszielorientierte Personen den sozialen Leistungsvergleich, um dabei hohe Leistungen zu demonstrieren respektive geringe Leistungen zu verbergen. Zwar sind die Leistungen lernzielorientierter Personen häufig nicht bedeutsam höher als die leistungszielorientierter Personen. Allerdings setzen lernzielorientierte Personen Strategien effizienter ein, und ihr Lernerfolg ist robuster gegenüber einem geringen akademischen Selbstkonzept. Insofern ist eine Lernzielorientierung insgesamt eher als lernförderlicher einzuschätzen als eine Leistungszielorientierung.

#### **2.4.2 Zielorientierungen innerhalb selbstreguliert-entdeckenden Lernens**

Lernstrategien als Bestandteile selbstregulierten Lernens werden häufig als potenziell vermittelnde Variablen zwischen Zielorientierungen und Lernerfolg erachtet, wobei es der empirischen Forschung hierzu an eindeutigen Evidenzen mangelt (für einen Überblick siehe Baumert & Köller, 1996; vgl. Biggs, 1985). Allerdings zeigen Arbeiten zum Zusammenspiel von Lernstrategien und Zielorientierungen, dass Lernzielorientierungen enger mit Tiefenverarbeitungsstrategien zusammenhängen, während Leistungszielorientierungen häufiger mit Oberflächenverarbeitungsstrategien einhergehen (z.B. Ames & Archer, 1988; Pintrich & Garcia, 1993). Wolters (2004) zeigte

regressionsanalytisch, dass sowohl eine von Schülern wahrgenommene Lernzielstruktur des Schulunterrichts (*mastery structure*) als auch die schülerseitige Lernzielorientierung (*mastery orientation*) die selbst berichtete Nutzung kognitiver und metakognitiver Strategien statistisch signifikant vorhersagte (*mastery structure*:  $\beta = .22$  für kognitive und  $\beta = .16$  für metakognitive Strategien,  $p < .01$ ; *mastery orientation*: jeweils  $\beta = .47$  für kognitive und metakognitive Strategien,  $p < .01$ ). Für eine wahrgenommene Leistungszielstruktur des Unterrichts (*performance structure*) und Leistungszielorientierung der Schüler (*performance orientation*) war diese Vorhersage jedoch nicht bedeutsam (vgl. Archer, 1994; Elliot & McGregor, 2001).

Das *Drei-Schichten-Modell* von Boekaerts (1999) eignet sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit für die Veranschaulichung der Rolle internaler Zielorientierungen innerhalb des selbstregulierten Lernens: Es führt drei miteinander interagierende Teilsysteme des selbstregulierten Lernens zusammen und betrachtet das Setzen eigener Ziele als zentralen Bestandteil und eigenständiges Teilsystem des selbstregulierten Lernens. Das Teilsystem „Lernen“ beschreibt die Autorin als Adaption von Lernstilen an Aufgabenanforderungen. Hierbei wird der Modus der Informationsverarbeitung über die Auswahl, Koordination und Kombination kognitiver Strategien reguliert. Dem Teilsystem „Regulation“ werden metakognitive Fertigkeiten (vgl. Abschnitt 2.2.3.1) zugeordnet, über die ein Lernprozess reguliert wird. Schließlich beinhaltet das Teilsystem der Regulation des „Selbst“ das Setzen eigener Ziele, die Identifikation mit und die Verpflichtung gegenüber ihnen. Dies setzt die Fähigkeit voraus, laufende und anstehende Handlungen angesichts eigener Wünsche, Bedürfnisse und Erwartungen zu definieren, sowie die volitionale Fähigkeit, eigene Ziele von konfligierenden Handlungsalternativen abzuschirmen. Selbst gesetzte Ziele beim selbstregulierten Lernen können wichtige Hinweise darüber liefern, warum Lerner welche Lernhandlungen ausüben oder unterlassen (vgl. Boekaerts, 1999; Boekaerts & Niemivirta, 2000). Internale Zielorientierungen, die wiederum beeinflussen, welche Art von Ziel sich eine Person in einer Lernsituation setzt, sind somit an der Ausrichtung eines selbstregulierten Lernprozesses beteiligt (vgl. Ames & Archer, 1988; Dweck & Leggett, 1988; Pintrich, 1999; Stiensmeier-Pelster & Schlangen, 1996).

In Anlehnung an das *Drei-Schichten-Modell* von Boekaerts (1999) wird im Folgenden ein *Drei-Komponenten-Modell* vorgestellt (Abbildung 1), um zu verdeutlichen, welche Rolle die vorliegende Arbeit internalen Zielorientierungen für den Aspekt der Selbstregulation beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren zuschreibt.

*1. Motivationale Komponente (siehe Abbildung 1).* Es wird davon ausgegangen, dass diese Komponente zu Beginn eines Lernprozesses die Wahrnehmung und die Einschätzung der Merkmale von Aufgaben beeinflusst, woraufhin die Person bestimmte

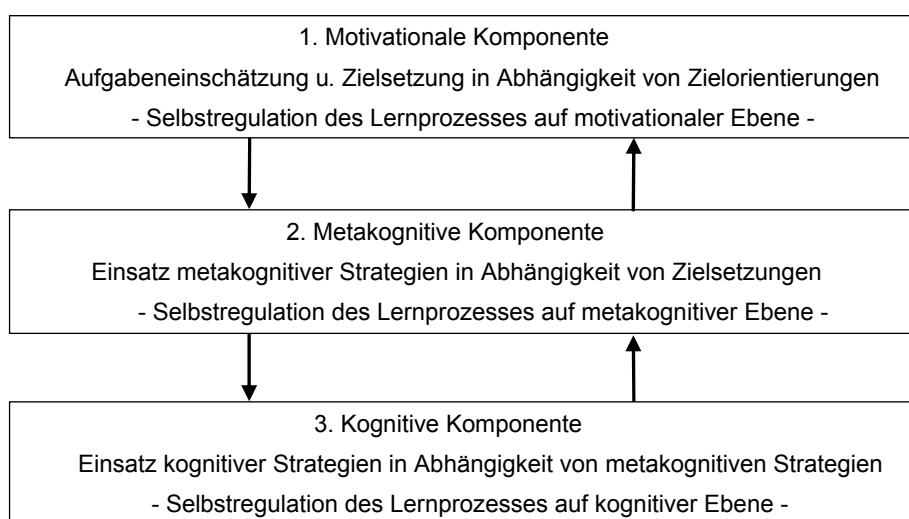
Ziele für die Aufgabe wählt (vgl. Pintrich, 1999; Schreiber, 1998; Winne & Hadwin, 1998). Die Zielorientierung, das Selbstkonzept, die Selbstwirksamkeitsüberzeugung, das Interesse und die aktuelle Motivation einer Person bestimmen die Ziele, die sie sich bei konkreten Aufgaben setzt, was wiederum die Art der Herangehensweise an Aufgaben beeinflusst und somit selbstregulierte Lernprozesse ausrichtet (Boekaerts, 1999; vgl. Meece, 1994; Winne & Hadwin, 1998).

2. *Metakognitive Komponente (siehe Abbildung 1).* Die Person lenkt ihr eigenes Lernen in Abhängigkeit von ihren Kenntnissen über metakognitive Strategien und ihrer Fähigkeit, sie in einer Lernumgebung einzusetzen. Die Einsatzart metakognitiver Strategien hängt von der Art der Zielorientierung der Person ab. Beispielsweise wird bei einer Lernzielorientierung das *Planen* eher zum Setzen von Lernzielen führen und das *Überwachen* eher zur Orientierung auf Hinweisreize, die den Lernfortschritt indizieren (vgl. Winne & Hadwin, 1998; Pintrich, 2000). Die Regulation wird darauf hinauslaufen, dass die kognitiven Aktivitäten im Sinne eines durch Kompetenzstreben geleiteten Wissenserwerbs an die Aufgabe angepasst werden. Hingegen sollte bei einer Leistungszielorientierung das Planen zum Setzen von Leistungszielen führen und das Überwachen zur Orientierung auf Hinweisreize, die den Fortschritt beim Hinarbeiten auf ein Leistungskriterium oder die Aufgabenlösung indizieren. Die damit einhergehenden sozialen Vergleiche (Kapitel 2.4; VandeWalle et al., 2001; Elliot, 1999; Wolters, 2004) können nach Pintrich (2000) sogar zur Überwachung der Leistung anderer führen.

3. *Kognitive Komponente (siehe Abbildung 1).* Die Person reguliert den Informationsverarbeitungsmodus, indem sie konkrete kognitive Strategien auswählt und unmittelbar auf der Handlungsebene einsetzt. Wie welche kognitiven Lernstrategien eingesetzt werden, hängt davon ab, welche metakognitiven Strategien durch die Zielorientierung der Person ausgelöst wurden. Bei einer internalen Lernzielorientierung ist eher die Aktivierung des metakognitiven Wissens über und der Einsatz von kognitiven Tiefenverarbeitungsstrategien zu erwarten, was einer nachhaltigen Wissenserweiterung der persönlichen Wissensbasis dient. Bei einer externalen Leistungszielorientierung ist dagegen der Einsatz von Oberflächenverarbeitungsstrategien zu erwarten (Ames & Archer, 1988; Dweck & Leggett, 1988), um ein aktuelles Leistungskriterium zu erreichen und sozial zu vergleichen (vgl. Elliot, 1999; Pintrich, 2000; Pintrich & Garcia, 1993; VandeWalle et al., 2001; Wolters, 2004).

Das an Boekaerts (1999) angelehnte Modell aus Abbildung 1 umfasst drei wesentliche Komponenten selbstregulierten Lernens, die bewusst nicht als einer hierarchischen Sequenz folgende Phasen aufgefasst werden (vgl. Winne & Hadwin, 1998). Vielmehr ist das Modell als zyklisch zu betrachten. Beispielsweise ist denkbar, dass der Einsatz einer kognitiven Lernstrategie (Komponente 3) bei einer Aufgabe über das Verständnis von Zusammenhängen neue Informationen für den Lerner hervorbringt,

die ihm zeigen, welche Aufgabenteile als nächstes bearbeitet werden sollten. Dies kann rückwirkend eine Neuplanung<sup>5</sup> veranlassen, was in das Setzen neuer Ziele (motivationaler und/oder inhaltlicher Art) münden kann und das metakognitive Wissen (Komponente 2) über und den Einsatz von aktuell notwendig gewordenen Lernstrategien aktiviert. Diese Rückkopplungsprozesse sind auch bis zu Komponente 1 denkbar, wenn der Erfolg des Lernalers in den Komponenten 2 und 3 des Lernprozesses motivationale Veränderungen bewirkt (z.B. wenn ein eingangs gesetztes Vermeidungs-Leistungsziel nach gestärkter Selbstwirksamkeitsüberzeugung durch ein Annäherungs-Leistungsziel substituiert wird; vgl. Ames, 1992; Dweck & Leggett, 1988).



*Abbildung 1:* Drei-Komponenten-Modell des selbstregulierten Lernens in Anlehnung an Boekaerts (1999)

*Fazit.* Selbstreguliertes Lernen ist ein zyklischer Prozess, in dem motivationale, metakognitive und kognitive Komponenten gegenseitig aufeinander einwirken. Dabei richtet die interne Zielorientierung einer Person das selbstregulierte Lernen aus, da sie die Ziele prägt, die sich eine Person bei der Auseinandersetzung mit einer Aufgabe setzt. Lernzielorientierte Personen setzen für nachhaltige Lernprozesse vorteilhaftere metakognitive und kognitive Strategien ein als leistungszielorientierte Personen.

## 2.5 Zusammenfassung

Entdeckendes Lernen ist ein Prozess, in dem Lernende aktiv und reflektierend deklaratives beziehungsweise prozedurales Sach- und Handlungswissen konstruieren

---

<sup>5</sup> An der „Planung“ als metakognitive Strategie wird deutlich, dass ein streng hierarchischer Phasencharakter innerhalb des hier dargestellten Drei-Komponenten-Modells ungeeignet ist: Unter Planung fällt auch das Setzen von Zielen, was jedoch ebenfalls – zumindest motivationale Ziele betreffend – für die Komponente 1 angenommen wird (vgl. Boekaerts, 1999).

können, wobei sinnvoll-entdeckend erworbenes Wissen am ehesten die Voraussetzungen für längerfristige Verfügbarkeit und flexible Anwendbarkeit erfüllt. Frühere Forschungsansätze zum entdeckenden Lernen schenken dem selbstregulativen Aspekt von Lernprozessen wenig Beachtung. Aktuellere Ansätze zum entdeckenden Lernen durch Experimentieren (*scientific discovery learning*) integrieren die Selbstregulation hingegen als festen Bestandteil in Prozesse des entdeckenden Lernens durch Experimentieren.

Das in der vorliegenden Arbeit untersuchte selbstreguliert-entdeckende Lernen durch Experimentieren geschieht interaktiv, da durch experimentierende Lernhandlungen neue Situationen hergestellt werden, die vorher noch nicht wahrnehmbare Informationen enthalten. Strategisches Experimentieren zeichnet sich durch planvolles und systematisches Identifizieren neuer Informationen aus, indem Hypothesen gebildet und durch geeignete Experimente getestet werden. Die isolierende Variablenkontrolle als kognitive Experimentier- und Lernstrategie ist insbesondere in naturwissenschaftlichen Domänen eine wichtige Vorgehensweise für das systematische Identifizieren von Informationen. Für einen nachhaltigen selbstreguliert-entdeckenden Lernprozess ist es jedoch auch erforderlich, neu identifizierte Informationen zu integrieren, um sie zu einem späteren Zeitpunkt abrufen zu können (z.B. durch kognitive Wiederholungsstrategien).

Der selbstregulative Akt beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren besteht im Kern darin, dass ein Lerner neu erzeugte Informationen für den weiteren Verlauf des Lernens berücksichtigt: Auf der Basis neuer Informationen können neue Schlussfolgerungen gezogen, bestehende Hypothesen falsifiziert oder bestätigt und gegebenenfalls entsprechende Folgeexperimente durchgeführt werden.

Werden neu generierte Informationen in den weiteren Lernprozess mit einbezogen, können dadurch auch bisheriges metakognitives Planen und Überwachen sowie der Einsatz von kognitiven Strategien verändert werden. Beispielsweise können weitere Ziele gesetzt oder bestehende verändert werden. Die Verstehenskontrolle kann verschärft oder auf andere Zusammenhänge verlagert werden, und der systematische Einsatz von Tiefenverarbeitungsstrategien kann verstärkt werden.

Ein solcher selbstreguliert-entdeckender Wissenserwerb durch Experimentieren besteht aus dem Zusammenspiel motivationaler, metakognitiver und kognitiver Variablen. Intelligenz, Vorwissen und Motivation spielen im Prozess des selbstreguliert-entdeckenden Lernens eine entscheidende Rolle, indem sie die Nutzung kognitiver und metakognitiver Strategien beeinflussen. Beispielsweise konnte bei (test)intelligenteren Personen ein lernförderlicher Einsatz metakognitiver Strategien häufiger beobachtet werden als bei weniger (test)intelligenten Personen. Die lernförderliche Nutzung kognitiver Strategien wird durch Vorwissen moderiert: Eine ausreichend hohe Vorwissensbasis ist notwendig für das Aufstellen geeigneter Hypothesen, die dann durch

Experimente überprüft werden können. Während sich ein hohes domänenspezifisches Vorwissen als Integrationsbasis für neu eingehende Informationen positiv auf den Wissenserwerb bei einem konkreten Lerngegenstand auswirkt, verbleibt bei themenspezifischem Vorwissen nicht mehr viel Wissen, das bei einem solchen konkreten Lerngegenstand noch hinzu gelernt werden könnte. Vorwissen, das mit zu lernendem Material konsistent ist, beeinflusst den Wissenserwerbs positiv, während mit dem Vorwissen inkonsistentes Material den Wissenserwerb sogar behindern kann. Schließlich wird Lern- und Leistungsverhalten durch die Motivation (insbesondere durch die aktuelle Motivation) sowie durch das Interesse von Lernenden beeinflusst.

Im zyklischen Prozess des selbstregulierten Lernens stehen motivationale, metakognitive und kognitive Komponenten in wechselseitiger Beziehung zueinander, wobei die interne Zielorientierung einer Person als motivationale Variable zu Beginn eines Lernprozesses die Verlaufsart des selbstregulierten Lernens ausrichtet. Dabei streben lernzielorientierte Personen den eigenen Wissens- und Kompetenzzuwachs an, während leistungszielorientierte Personen den Leistungsvergleich mit anderen suchen. Zwar zeigen lernzielorientierte Personen oftmals keine besseren Leistungen als leistungszielorientierte Personen. Aber während eine Lernzielorientierung eher zur metakognitiven Überwachung des persönlichen *Lernfortschritts* und zum Einsatz kognitiver Tiefenverarbeitungsstrategien führt, bewirkt eine Leistungszielorientierung eher eine metakognitive Überwachung eigenen und fremden *Leistungsfortschritts* sowie den Einsatz kognitiver Oberflächenverarbeitungsstrategien. Die Forschung zur Leistungsmotivation sieht Zielorientierungen meist als relativ stabile Personenmerkmale. Es gibt jedoch noch keinen letztgültigen Konsens dafür, ob Zielorientierungen als dispositionelle oder habituelle Personenmerkmale aufzufassen sind oder ob sie auch als situationsspezifische motivationale Zustände in Erscheinung treten. Plausibel ist die Annahme, dass Zielorientierungen das Lern- und Leistungsverhalten zwar relativ zeit- und situationsübergreifend beeinflussen, aber von anderen motivationalen Variablen, wie das Interesse, nicht unabhängig sind. So wird das Streben nach Wissenszuwachs bei lernzielorientierten Personen mit hohem Interesse für das jeweils fokussierte Thema stärker sein als bei Personen mit geringem Interesse dafür.

### **3 Instruktion durch externe Zielvorgaben**

Im vorangegangenen Kapitel wurden *innerhalb der Person* liegende Faktoren behandelt, die das selbstreguliert-entdeckende Lernen durch Experimentieren beeinflussen. Das folgende Kapitel behandelt für diese Lernform relevante Faktoren, die *in der Lernumwelt der Person* liegen. Zu solchen Faktoren zählen externe (von außen vorgegebene) Zielvorgaben als instruktionale Maßnahmen. Die Prüfung der Wirkung von externalen

Zielvorgaben auf den Erfolg beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren ist ein zentrales Anliegen der vorliegenden Arbeit.

### 3.1 Das Zielkonzept

Frühere, oft behavioristisch orientierte Arbeiten zu zielorientiertem Verhalten (z.B. Skinner, 1953), legten zugrunde, dass zielorientiertes Verhalten nicht das Erreichen eines vom Organismus selbst gesetzten Ziels intendiert (Bindra, 1959). Viele aktuellere Zieltheorien hingegen beziehen sich auf subjektive Ziele innerhalb von Personen (z.B. Ames & Archer, 1988; Dweck, 1986; Nicholls, 1984). Nach Oettingen und Gollwitzer (2000) wird zielgerichtetes Verhalten auf Ziele ausgerichtet, denen gegenüber die Person sich verpflichtet fühlt. Kruglanski (1996) bezeichnet Ziele als Wissensstrukturen, die einen zukünftig zu erreichenden Zustand repräsentieren, aber ähnlichen Prinzipien des Erwerbs, der Aktivierung, der Veränderung und der Organisation folgen wie alle anderen Wissensstrukturen auch, unabhängig vom Inhalt (vgl. Higgins, 1996). Im Hinblick auf *Zielsetzung* sind für die vorliegende Arbeit insbesondere inhaltstheoretische Ansätze der modernen Zielpsychologie relevant (z.B. Ames & Archer, 1988; Burns & Vollmeyer, 2002; Elliot & McGregor, 2001; Locke & Latham, 1990; Nichols, 1984; Sweller, 1988, 1994; Trumpower et al., 2004), die eine erfolgreiche Zielsetzung durch prägnante Zielmerkmale vorhersagen (z.B. konkrete vs. abstrakte Ziele, Ideal- vs. Sollziele, Leistungs- vs. Lernziele oder fremd- vs. selbstgesetzte Ziele).

Unabhängig davon, ob sich Personen Ziele selbst setzen, oder ob sie ihnen von außen vorgegeben werden, sind sie von Bedürfnissen und Anreizen zu trennen. Wird ein *Bedürfnis* in einer Person akut, erzeugt es in ihr einen Spannungszustand, der wiederum in das Bestreben mündet, das Bedürfnis durch entsprechende Verhaltensweisen (z.B. das Ausüben von Tätigkeiten des persönlichen Interesses) zu befriedigen. Ist ein Bedürfnis in einer Person vorhanden (mit einer Anspannung des entsprechenden Personenbereichs), so erhält ein Zielobjekt in der Umwelt, welches die Person als adäquat zur Bedürfnisbefriedigung erachtet, einen entsprechenden *Anreiz* (vgl. Geen, 1995; siehe Weiner, 1994). *Verhaltensziele* werden gesetzt, um diese Anreize zu erreichen (vgl. auch Oettingen & Gollwitzer, 2000). Nach Read, Druian & Miller (1989) kann Verhalten nur verstanden werden, wenn das Ziel, auf das es ausgerichtet ist, identifiziert ist.

Ziele, die einer Person external, also von außen aufgetragen werden, müssen von der Person zunächst übernommen werden, bevor deren Erreichung angestrebt wird. Diese *Transformation eines aufgetragenen Ziels* in eine persönlich verbindliche Zielsetzung hängt von der Vertrauenswürdigkeit des Zielsetzenden (Locke & Latham, 1990) und von den Einschätzungen des Rezipienten selbst ab (z.B. Machbarkeit, Umformulierung für die eigene Person, Integration in bereits bestehende eigene

Zielsetzungen und wahrgenommene Diskrepanz zwischen auftragener und eigener Zielsetzung; vgl. Cantor & Fleeson, 1994; siehe Oettingen & Gollwitzer, 2000). Im positiven Fall ist zielgerichtetes Verhalten persistent, adaptiv und von der Suche nach Möglichkeiten geprägt, den Zielzustand zu erreichen. Gemäß dem Rubikonmodell der Handlungsphasen (Heckhausen, 1991) werden innerhalb eines bewussten Prozesses der Zielsetzung die von einer Person als „wünsch- und machbar“ eingeschätzten Wünsche am ehesten in verbindliche Ziele transformiert. Der Übergang vom Wünschen zum Wollen wird durch die Metapher des „Überschreitens des Rubikons“ repräsentiert (vgl. Heckhausen & Gollwitzer, 1987).

Aufgaben, welche als inhaltsbezogene Denk- und/oder Handlungsaufforderungen bestimmte kognitive oder motorische Aktivitäten verlangen (vgl. Bruder, 2003; Klauer, 1987), werden in der vorliegenden Arbeit von Zielen abgegrenzt: Eine Aufgabe selbst definiert das, was getan werden soll. Der Bearbeitung einer Aufgabe können jedoch unterschiedliche Ziele zugrunde liegen. Das Ziel einer Aufgabe kann die bloße Aufgabenlösung als Ergebniszustand sein (ein situationaler Zustand als Ziel, vgl. Abschnitt 2.2.2.1, S. 14) oder der didaktische Zweck, etwas durch die Bearbeitung der Aufgabe zu lernen. Eine *Zielvorgabe* beinhaltet sowohl eine Aufgabe (Denk- und/oder Handlungsaufforderung) als auch eine *Zielart* (z.B. das Ziel, lediglich das gewünschte Aufgabenergebnis herzustellen, oder das Ziel, Wissen zu erwerben).

*Fazit.* Sowohl von außen vorgegebene als auch von Personen selbst gesetzte Ziele sind von Bedürfnissen und Anreizen zu trennen. Die Transformation eines auftragenen Ziels in eine persönlich verbindliche Zielsetzung hängt dabei von der Vertrauenswürdigkeit des Zielsetzenden und den Einschätzungen des Rezipienten selbst ab (z.B. Machbarkeit, Umformulierung für die eigene Person, Integration in bereits bestehende eigene Zielsetzungen und wahrgenommene Diskrepanz zwischen auftragener und eigener Zielsetzung). Im günstigen Fall ist zielgerichtetes Verhalten persistent, adaptiv und von der Suche nach Möglichkeiten geprägt, den Zielzustand zu erreichen. Einer Zielvorgabe liegen eine Denk- und/oder Handlungsaufforderung sowie eine Zielart (z.B. das Ziel, die Aufgabe nur zu lösen, oder ein Lernziel) zugrunde.

### **3.2 Psychologische Konzeptionen externaler Zielvorgaben**

Evidenzen dafür, dass unterschiedliche Arten von externalen Zielvorgaben den Erfolg von Lernprozessen und die Motivation differentiell beeinflussen, wurden in der bisherigen Forschung zu Zielkonzeptionen häufig erbracht (z.B. Bandura, 1986; Burns & Vollmeyer, 2002; Locke & Latham, 1990; Sweller, 1988, 1994). Dabei liegt der Fokus entsprechender Studien meist auf Unterschieden im Spezifitätsgrad von Zielen. Im vorliegenden Kapitel wird zunächst ein allgemeiner und exemplarischer Überblick über



zentrale psychologische Konzeptionen von Zielvorgaben gegeben, bevor konkreter auf bisherige instruktionspsychologische Studien zu Zielvorgaben eingegangen wird. Der Schwerpunkt liegt in der Ausarbeitung der Dimensionen *Zielspezifität* und *Zielqualität*.

### 3.2.1 Zielspezifität

Die prominente Mehrheit der psychologischen Arbeiten zur Wirkung unterschiedlicher Zielvorgaben auf Leistungsvariablen und Lernen unterscheidet zwischen *spezifischen* (konkret und präzise formulierten) und *unspezifischen* (allgemein und vage formulierten) Zielen (z.B. Bandura, 1986; Burns & Vollmeyer, 2002; Locke & Latham, 1990; Sweller, 1988, 1994; Sweller, Mawer & Ward, 1983; Trumpower et al., 2004; Vollmeyer et al., 1996). Die Befunde hinsichtlich der Effekte dieser Zielarten auf Lern -oder Leistungsvariablen sind jedoch nicht über unterschiedliche psychologische Disziplinen hinweg homogen.

Locke und Latham führten im Rahmen der Zielsetzungstheorie (*theory of goal setting*) meist organisationspsychologisch orientierte Studien durch oder berichteten über sie. Sie fanden, dass spezifische Ziele meist eine bessere Leistung in der Zielerreichung bewirken als unspezifische Ziele (siehe Locke & Latham, 1990). Andererseits argumentieren Kanfer et al. (1994), dass die Lernleistung unter spezifischen Zielvorgaben im Vergleich zu „freien“ (unspezifischen) Zielvorgaben sinkt. Die Autoren begründen dies dadurch, dass spezifische Ziele insbesondere bei komplexen Aufgaben mehr Konzentration erfordern als unspezifische Ziele, was die für den Erwerb aufgabenrelevanter Lösungsstrategien benötigte kognitive Kapazität bindet.

Sweller und Levine (1982) zählen zu den ersten, die innerhalb der pädagogisch-psychologischen Disziplin Effekte der Zielspezifität auf die Leistung in anschließenden Problemlösetests zugunsten unspezifischer Ziele zeigten. Sie definieren Zielspezifität als das Ausmaß, in dem ein Ziel für die Person klar definiert ist. Diese Definition entstand in der psychologischen Problemlöseforschung, so dass die Person hier als Problemlöser und das Ziel als Problemzustand begriffen wurde (Sweller & Levine, 1982, S. 463).

#### 3.2.1.1 Organisationspsychologische Konzeptionen von Zielvorgaben

An einer Reihe organisationspsychologischer Metaanalysen zeigten Locke und Latham (1990), dass die Schwierigkeit externaler Zielvorgaben linear positiv mit dem Ergebnis von Leistungsverhalten zusammenhängt, wenn Personen ausreichende Fähigkeiten für die Zielerreichung besitzen. Mento, Steel und Karren (1987) bestätigten in ihrer Metaanalyse mit 70 Einzelstudien (gesamtes N = 7407) den *Zielschwierigkeitseffekt* mit einer mittleren Effektstärke ( $d = .55$ ). In diesen Studien wurden im Kern spezifisch-schwierige (*specific-difficult*) von unspezifischen Zielen (*do best*, oder *no assigned goals*)

unterschieden (Brown & Latham, 2002; Cervone, Jiwani & Wood, 1991; Locke & Latham, 1990). Die Metaanalysen zu dieser Zieldichotomie fanden meist, dass spezifisch-schwierige Ziele zu mehr Leistung führen als unspezifische Ziele (z.B. Hunter & Schmidt, 1983).

Die genannten Untersuchungen sind jedoch sowohl theoretisch als auch empirisch auf organisationspsychologische Belange zugeschnitten: Von bestimmten Zielvorgaben sollen langfristige Effekte auf die Motivation, die Leistung und das Engagement (*commitment*) erwachsener Mitarbeiter eines Unternehmens ausgehen. Eine psychologisch durchdachte Mitarbeiterführung, wozu auch geeignete und situationsangepasste Zielvorgaben zählen, intendiert letztlich unternehmerische Erfolge und materielle Ergebnisse (z.B. Verbesserung der Auftragslage und Gewinnspanne). Somit fokussieren derartige Zielvorgaben in erster Linie externe Ergebnisse in der Umwelt der Person. Das Lernen der Person selbst gerät in diesem Kontext nur in den Fokus, wenn es das Erreichen eines Ergebnisses effizient unterstützt. Locke und Latham (1990) postulieren im Zuge ihrer goal-setting-Theorie beispielsweise, dass Mitarbeiter Ziele erfolgreicher erreichen, wenn ihnen *proximale* (zeitlich nahe gelegene), *herausfordernde*, *akzeptierte* und *spezifische* (präzise definierte) Ziele, statt *distale* (zeitlich ferner gelegene) und *unspezifische* (offene, den Handlungsspielraum des Mitarbeiters erweiternde) Ziele gesetzt werden. Es wird aber eingeräumt, dass die Art der Zielvorgabe an die Motivation und die selbstregulatorische Fähigkeit der Mitarbeiter angepasst werden sollte: Motivierte Mitarbeiter mit hohen selbstregulatorischen Fähigkeiten (zur selbstständigen Organisation, Planung und Koordination der Arbeit sowie zur Kontrolle selbst erreichter Zwischenergebnisse) profitieren von einer Erweiterung ihres Handlungsspielraumes durch distale und unspezifische Zielvorgaben, indem ihre Motivation und Arbeitszufriedenheit gesteigert sowie der Steuerungsbedarf durch Führungskräfte reduziert wird. Unspezifische Zielvorgaben, welche eine relativ eigenständige motivationale, kognitive und metakognitive Regulation verlangen, stellen demnach höhere Ansprüche an die Selbstregulation durch die Person als spezifische Zielvorgaben (vgl. Hacker, 1998, 1999).

Des Weiteren verwendeten organisationspsychologische Studien oft einfache Aufgaben (z.B. leichte Additionsaufgaben, Anagramme oder die Auflistung von Substantiven) oder Aufgaben mit allgemeinen kognitiven, berufsrelevanten oder sportlichen Anforderungen (z.B. Reaktionszeiten oder der Absatz von Produkten als Verkaufsleistung; vgl. Boyce & Wayda, 1994; siehe Locke & Latham, 1990, S. 41). Spezifisch formulierte Zielvorgaben begünstigten die Aufgabenleistung im Gegensatz zu unspezifisch formulierten nur bei nicht zu komplexen Zielen, häufigen Leistungsrückmeldungen, starker Zielverpflichtung und hinreichender Kompetenz der Probanden (Locke & Latham, 1990).

*Fazit.* Studien aus dem organisationspsychologischen Kontext zeigen mehrheitlich, dass spezifische Zielvorgaben, die zusätzlich als schwierig bezeichnet werden (specific-difficult-goals), leistungsförderlicher sind als unspezifische Zielvorgaben, die weder als einfach noch als schwierig bezeichnet werden (do best-goals). Die abhängige Variable in organisationspsychologischen Studien besteht in der Zielerreichung selbst und umfasst meist berufsrelevante Leistungen von in der Regel erwachsenen Mitarbeitern eines Unternehmens. Die in diesen Studien untersuchten Probanden brachten entsprechende Vorkenntnisse und Fertigkeiten bereits mit. Es wird eingeräumt, dass oft nur motivierte und mit ausreichend selbstregulatorischen Fähigkeiten ausgestattete Mitarbeiter eher von unspezifischen als von spezifischen Zielvorgaben profitieren. Unspezifische Zielvorgaben verlangen im Vergleich zu spezifischen Zielvorgaben ein höheres Maß an motivationaler, kognitiver und metakognitiver Selbstregulation.

### **3.2.1.2 Instruktionspsychologische Konzeptionen von Zielvorgaben**

Anders als organisationspsychologische Studien zeigen instruktionspsychologisch ausgerichtete Forschungsarbeiten zur Zielspezifität die Überlegenheit *unspezifischer* (allgemein und vage formulierter) Zielvorgaben gegenüber *spezifischen* (konkret und präzise formulierten) Zielvorgaben<sup>6</sup>, was als *Zielspezifitätseffekt* bezeichnet wird (z.B. Ayres, 1993; Brunstein & Krems, 2005; Burns & Vollmeyer, 2002; Geddes & Stevenson, 1997; Mawer & Sweller, 1982; Miller, Lehman & Koedinger, 1999; Owen & Sweller, 1985; Sweller, 1988, 1994; Sweller et al., 1983; Trumpower et al., 2004; Vollmeyer et al., 1996; Vollmeyer, Burns & Rheinberg, 2000).

Die Überlegenheit unspezifischer Ziele drückt sich in diesen Arbeiten überwiegend darin aus, dass die Probanden unter dieser Bedingung näher an anschließend gesetzte Problemlöseziele herankamen, weniger Fehler machten, teilweise kürzere Bearbeitungszeiten aufwiesen und mehr deklarativ-konzeptuelles Wissen erwarben (z.B. häufiger benennen konnten, welche Variablen in welcher Wirkungsrichtung und in welcher Intensität zusammenhängen). Zusätzlich konnte bei der Vorgabe unspezifischer Ziele erworbenes Wissen in oberflächlich veränderten, aber strukturell ähnlichen Aufgaben besser angewendet werden als bei der Vorgabe spezifischer Ziele.

Bevor die scheinbar widersprüchlichen Befundmuster organisationspsychologischer und instruktionspsychologischer Studien voreilig dazu verleiten, sie als sich gegenseitig abschwächend zu betrachten, muss die unterschiedliche Intention der Studien berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu organisationspsychologischen Studien (siehe

---

<sup>6</sup> Sweller (1988) bezeichnet die Problemstellung mit unspezifischem Ziel auch als *zielfreies Problem* (*goal-free problem*), wobei in der Forschung zum komplexen Problemlösen auch *ill-defined goals* (unspezifische Ziele) von *well-defined goals* (spezifische Ziele) unterschieden werden (vgl. z.B. Kluwe, 1993).

Abschnitt 3.2.1.1) werden in der pädagogisch-psychologischen Forschungstradition die Effekte von Zielvorgaben auf Problemlöse- und Lernleistungen in der Regel mit Blick auf eine Schülerpopulation fokussiert. Anstelle berufsrelevanter Aufgaben werden zumeist Bedingungen in Form von Lern- oder Problemlöseumgebungen konzipiert, die einen schulrelevanten oder fiktiven Inhaltsbereich haben können und von papier-bleistift-basierten Aufgaben (z.B. Sweller, 1988, 1994) bis hin zu komplexen computerbasierten Systemen (z.B. Burns & Vollmeyer, 2002) reichen können. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die abhängige Variable hier nicht die Leistung während der Zielerreichung selbst ist, sondern der anschließend gemessene Lernerfolg in Form von deklarativ-konzeptuellem Wissenserwerb oder die Problemlöseleistung bei anschließenden Wissensanwendungs- und Transferaufgaben.

Im Folgenden soll eine beispielhafte Auswahl von Studien aus der bestehenden instruktionspsychologischen Forschung zur Zielspezifität eine Einsicht darin geben, wie und bei welchen Aufgabenarten spezifische und unspezifische Zielvorgaben bislang definiert, operationalisiert und eingesetzt wurden. Dadurch sollen Unterschiede zwischen diesen zwei Zielarten insbesondere hinsichtlich ihrer wesentlichen Merkmale und ihrer Wirkung auf lernerfolgsrelevante Variablen herausgestellt werden.

Sweller (1988) ließ 15-16-jährige Probanden sechs trigonometrische Problemlöseaufgaben bearbeiten. Die Probanden sollten die Seiten von insgesamt sechs Dreiecken bestimmen, wobei ein Dreieck jeweils eine Aufgabe war. Die Anforderung der Problemstruktur wurde insofern konstant gehalten, als sich die Aufgaben nur in den gegebenen Werten unterschieden, wie zum Beispiel die Größe angegebener Winkel. Die Probanden unter der *spezifischen* Zielbedingung bekamen die Instruktion, eine bestimmte Seitenlänge eines jeweiligen Dreiecks zu bestimmen. Diejenigen unter der *unspezifischen* Zielbedingung sollten so viele Seiten der Dreiecke ausrechnen, wie sie können (bis auf zwei markierte Seiten eines jeweiligen Dreiecks, die auch die Gruppe mit der spezifischen Zielbedingung nicht ausrechnen musste). Den Probanden beider Bedingungen wurde gesagt, dass es die Hauptaufgabe ist, die Probleme zu lösen. Als Resultat zeigten sich zwar nur marginale Unterschiede zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der benötigten Zeit für die jeweilige Lösung der sechs Problemlöseaufgaben zugunsten der Gruppe mit der unspezifischen Zielbedingung. In der Reproduktionsbedingung jedoch, unter der die Probanden die graphische Darstellung und die Lösung der jeweils bearbeiteten Problemlöseaufgabe reproduzieren sollten, machten die Probanden unter der unspezifischen Zielbedingung bei allen von insgesamt sechs Fehlerarten (z.B. Seitenlängen mit falschen numerischen Werten oder inkorrekte Reproduktionen der Lösung) tendenziell weniger Fehler und signifikant weniger bei vier von diesen sechs Fehlerarten (vgl. auch Owen & Sweller, 1985).

Sweller et al. (1983) zeigten ein weiteres Beispiel für diese Art von Zieldichotomie hinsichtlich einer kinematischen Problemlöseaufgabe aus der Physik: „Ein Rennauto kann innerhalb von 18 Sekunden aus dem Ruhezustand 305.1 Meter weit fahren.“ Als spezifisches Ziel formulierten Sweller und Mitarbeiter die Frage: „Welche Geschwindigkeit wird es erreichen?“, als unspezifisches Ziel die Aufforderung: „Berechne die Werte so vieler Variablen, wie du kannst!“ Unspezifische Ziele führten zu weniger Fehlern und zu besserer Problemlöseleistung bei der Lösung anschließend dargebotener neuer Problemlöseaufgaben als spezifische Problemlöseziele.

Aus der Arbeit von Sweller (1994) lässt sich anhand einer Geometrieaufgabe ein weiteres Beispiel für ein spezifisches respektive unspezifisches Ziel entnehmen. Den Probanden wurde die Aufgabe vorgelegt, die Winkel eines Dreiecks zu bestimmen: „Berechne den Wert für den Winkel X“ (spezifisches Ziel) beziehungsweise „Berechne die Werte so vieler Winkel, wie du kannst“ (unspezifisches Ziel). Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die Berechnung des „Winkels X“ die Berechnung anderer Winkel voraussetzt, so dass die Zwischenergebnisse beim spezifischen Ziel implizit prädefiniert sind und beim unspezifischen Ziel dem Probanden obliegen.

Sweller und Mitarbeiter zeigten, dass unter unspezifischen Zielen mehr über eine Problemlöseaufgabe gelernt wird als unter spezifischen Zielen. Beide Zielarten fordern zur Herstellung von situationalen Zuständen auf (vgl. S. 14). Sweller interpretiert die Ergebnisse so, dass spezifische Ziele die Aufmerksamkeit der Person auf die Differenz zwischen Ist- und Soll-Zustand lenken, was zur Anwendung der Problemlösestrategie *Mittel-Ziel-Analyse* (*means-ends-analysis*; Newell & Simon, 1963; Sweller, 1988, 1994) führt, die nach Sweller (1988, 1999) einen Großteil kognitiver Kapazitäten an Problemlöseprozesse und nicht an Lernprozesse bindet. Spezifische Ziele können nach Sweller zusätzlich eine duale Belastung des Arbeitsgedächtnisses auslösen (das Problem lösen *und* über das Problem lernen). Unspezifische Ziele führen dagegen nicht zum Einsatz der Mittel-Ziel-Analyse, sondern zur Fokussierung der Aufmerksamkeit auf lernrelevante Aufgabenaspekte.

Für die Untersuchungen zu diesem Zielspezifitätseffekt wählten die oben aufgeführten Studien schulnahe Aufgaben aus der Mathematik und der Physik mit überschaubarer Komplexität. Darüber hinaus sind diese Aufgaben den *statischen Verfahren* zuzuordnen (Wirth & Leutner, 2006). Solche statischen Verfahren (z.B. Fragebögen oder papier-bleistift-basierte Tests) ermöglichen keine Interaktion zwischen Aufgabe und Person. Sie erfassen und bewerten lediglich die Ergebnisse, die eine Person durch die Auseinandersetzung mit einer Aufgabe erzielt. Auf die Prozesse, die zu diesem Ergebnis geführt haben, kann nur indirekt geschlossen werden.

Der Zielspezifitätseffekt wurde auch in komplexen computersimulierten Systemen untersucht, die das in Abschnitt 2.2.2.1 dargestellte Zwei-Räume-Modell zugrunde

legten. Solche *dynamischen Verfahren* erlauben eine Interaktion zwischen Person und Aufgabe, weil Eingriffe der Person zu Veränderungen des situationalen Zustandes in der Lernumgebung führen und diese Zustände wiederum beeinflussen, welchen Eingriff die Person als nächstes vornimmt. Ein Großteil lern- und verstehensrelevanter Informationen wird erst durch diese Interaktion generiert. Durch die Möglichkeit der computerbasierten Aufzeichnung von Personeneingriffen können Problemlöse- und Lernprozesse direkt erfasst werden (vgl. Leutner, Leopold & Wirth, 2004; Wirth, 2004, 2005). Ein solches computersimuliertes, komplexes System (Berry & Broadbent, 1988; Blech & Funke, 2005; Dörner, 1980a; Funke, 1992, 2001, 2004; Leutner, 1993) simuliert mehr oder weniger realitätsnahe Situationen. Diese simulierten Situationen definieren die möglichen Zustände eines Systems und beinhalten eine bestimmte Anzahl zusammenhängender Variablen. Die Komplexität bezieht sich auf die multiplen Möglichkeiten von Zusammenhängen zwischen den Variablen, was eine relativ große Anzahl von situationalen Zuständen erlaubt. Dies sollte von Versuchspersonen nicht auf Anhieb durchschaut werden können (vgl. Kröner, 2001).

Burns und Vollmeyer (2002) untersuchten Effekte der Zielspezifität auf das Hypothesentesten und den Erfolg beim Problemlösen. Die von ihnen eingesetzte Lernumgebung ist ein komplexes computersimuliertes System („Water Tank System“), in dem sich über die Manipulation dreier Input-Variablen („salt“, „carbone“ und „lime“) drei hiervon abhängige Output-Variablen („oxygenation“, „CL concentrat“ und „temperature“) in eine bestimmte Wertekonstellation überführen lassen. Es wurden zwei Gruppen miteinander verglichen (Gruppe 1: spezifische- vs. Gruppe 2: unspezifische Zielvorgabe). Die Instruktionsphase beider Gruppen bestand in der Anweisung *herauszufinden, wie* sich unterschiedliche Input-Variablen auf die Wasserqualität auswirken. In der nachfolgenden Explorationsphase war zunächst durch Wirkungspfeile vorgegeben, welche Input-Variablen welche Output-Variablen beeinflussen. Dann wurden diese Verbindungspfeile jedoch entfernt, und die Probanden sollten nun ihr bis hierhin erworbenes Strukturwissen über das System überprüfen (Wirkungsrichtung und -gewichtung der Zusammenhänge zwischen Input- und Output-Variablen angeben). In dieser Explorationsphase ist der Gruppe 1 bereits ein spezifisches Ziel vorgegeben worden, indem angekündigt wurde, welche konkreten Zahlenwerte bei den drei Output-Variablen der Wasserqualität in der nachfolgenden Problemlösephase hergestellt werden sollen („oxygenation: 50“, „CL concentrat: 700“, „temperature: 900“). Die Gruppe 2 bekam dieses spezifische Ziel erst am Anfang der Problemlösephase, so dass sie die gesamte Explorationsphase auf der Basis eines unspezifischen Ziels durchliefen (weiterhin gemäß der Anweisung aus der Instruktionsphase vorzugehen: Herausfinden, wie sich die unterschiedlichen Input-Variablen auf die Wasserqualität auswirken). In der abschließenden Transferphase lösten beide Gruppen dieselben, spezifischen

Transferaufgaben. Die Ergebnisse fielen zugunsten der unspezifischen Zielvorgabe aus: Gruppe 2 erwarb mehr Strukturwissen über das System (Wissen über Variablenzusammenhänge) und löste auch die Transferaufgaben besser (Anwendung des Strukturwissens auf neue Problemstellungen). Überdies bestätigte sich die Annahme der Autoren, dass Probanden unter der spezifischen Zielbedingung im Prozess zur Problemlösung sich im Vergleich zu Probanden unter der unspezifischen Zielbedingung stark auf die Erreichung des vorgegebenen Zielzustands konzentrieren (z.B. die Output-Variable „oxygenation“ auf den Wert 50 zu bringen). Probanden mit der unspezifischen Zielbedingung hingegen testeten insgesamt mehr Hypothesen als die Probanden mit spezifischer Zielbedingung (z.B. die Testung, ob die Reduktion der Input-Variable „lime“ die Abnahme der Output-Variable „oxygenation“ bewirkt)

Vollmeyer et al. (1996) setzten die computerbasierte Lernumgebung „Biology Lab“ ein, die mit der Lernumgebung „Water Tank System“ von Burns und Vollmeyer (2002) vergleichbar ist. In einem ersten Experiment fanden die Autoren einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle (Abschnitt 2.2.2.2) bei der Bearbeitung von Problemlöseaufgaben und dem Erwerb von Strukturwissen über die Problemlöseaufgaben. Ebenfalls stellte sich im Zuge eines zweiten Experiments heraus, dass unspezifische Ziele zu mehr Strukturwissen über das System und zu einer besseren Leistung in der Lösung von Transferaufgaben führten als spezifische Ziele. Für die zur Nutzung der isolierenden Variablenkontrolle instruierten Subgruppen mit spezifischen Zielvorgaben zeigt sich insgesamt ein linearer Trend der Nutzungsabnahme dieser Strategie und zur Nutzungszunahme von Vorgehensweisen zur Reduktion der Differenz zwischen Ausgangs- und Zielzustand. Probanden mit Strategieinstruktion und unspezifischen Zielvorgaben nutzten stattdessen häufiger die isolierende Variablenkontrolle als strategieinstruierte Probanden mit spezifischen Zielvorgaben, wobei die Autoren für diesen Unterschied kein Signifikanzniveau berichten.

Anders als Sweller und Mitarbeiter zeigen Burns, Vollmeyer und Mitarbeiter (vgl. auch Geddes & Stevenson, 1997) den Zielspezifitätseffekt in ihren Studien durch die Verwendung computersimulierter komplexer Systeme. Sweller und Mitarbeiter erklären den Zielspezifitätseffekt im Kern über die kognitiv belastende Anwendung der Mittel-Ziel-Analyse bei spezifischen Zielen. Dagegen interpretieren Burns, Vollmeyer und Mitarbeiter den Zielspezifitätseffekt so, dass unspezifische Zielvorgaben zu einem systematischeren Testen von Hypothesen und zu einer effizienteren Nutzung der isolierenden Variablenkontrolle führen als spezifische Zielvorgaben.

*Fazit.* Instruktionspsychologische Studien zur Zielspezifität zeigen, dass external vorgegebene unspezifische Ziele lernförderlicher sind und anschließend zu besseren

Aufgabenleistungen führen als external vorgegebene spezifische Ziele (Zielspezifitätseffekt). Zudem gibt es empirische Evidenzen dafür, dass Probanden unter unspezifischen Zielvorgaben die Lernstrategie der isolierenden Variablenkontrolle häufiger und konsistenter bei der Bearbeitung von Aufgaben nutzen. Den Arbeiten von Sweller und Mitarbeitern ist gemeinsam, dass die von den Probanden zu bearbeitenden Aufgaben als *Problemlöseaufgaben* bezeichnet werden und die Zielvorgaben jeweils als Aufforderung konzipiert waren, einen vorgeschriebenen situationalen Zustand herzustellen oder ein bestimmtes Ergebnis zu ermitteln. „Situational“ bedeutet, dass der geforderte Zustand sich auf ein situatives Merkmal oder auf eine Merkmalskonstellation *außerhalb* der Person bezieht (z.B. den Wert eines Winkels ausrechnen, oder eine computersimulierte Figur zu einem bestimmten Verhalten bringen; vgl. Abschnitt 2.2.2.1, S. 14). Dieses Prinzip, durch Zielvorgaben das Herstellen situationaler Zustände zu intendieren, halten Sweller und Mitarbeiter über spezifische und unspezifische Zielvorgaben in den meisten ihrer Arbeiten konstant, so dass sich beide Zielarten hier weitestgehend nur im Spezifitätsgrad unterscheiden: Während bei einem spezifischen Ziel genau jeweils ein definierter situationaler Zustand (bzw. Ergebnis) hergestellt werden soll („Berechne den Wert für den Winkel X“), fordert ein unspezifisches Ziel dazu auf, so viele situationale Zustände (bzw. Ergebnisse) herzustellen wie möglich (z.B. „Berechne die Werte so vieler Winkel, wie du kannst“).

In der Studie von Burns und Vollmeyer (2002; vgl. auch Geddes & Stevenson, 1997; Vollmeyer & Burns, 2002) wird die Aufforderung zum Herstellen situationaler Zustände über spezifische und unspezifische Zielvorgaben hinweg nicht konstant gehalten. Ihre spezifischen Zielvorgaben forderten, wie bei Sweller und Mitarbeitern, zum Herstellen situationaler Zustände auf. Hingegen sollte bei einem unspezifischen Ziel, das zu Beginn der Untersuchung allen Probanden dargeboten wurde, *herausgefunden* werden, *wie* die Effekte unterschiedlicher Input-Variablen auf Output-Variablen zu *kontrollieren* sind. Diese unspezifische Zielvorgabe forderte nicht dazu auf, einen situationalen Zustand herzustellen, sondern Wissen über die Zusammenhänge zwischen Variablen zu erwerben. Trotzdem führen Burns und Vollmeyer (2002) die Unterschiede im Lernerfolg allein auf das Merkmal des Spezifitätsgrades der Ziele zurück (vgl. auch Geddes & Stevenson, 1997; Vollmeyer & Burns, 2002). Dies gefährdet jedoch die Validität der Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Untersuchung, da die potenziell lernförderliche Wirkung eines anderen Merkmals von Zielvorgaben verborgen bleibt: Zum Wissenserwerb, statt zum Herstellen eines situationalen Zustands aufzufordern.

### **3.2.2 Zielqualität**

Nachdem in Kapitel 3.2.1 die Dimension *Zielspezifität* (spezifische vs. unspezifische Ziele) behandelt wurde, intendiert das hier vorliegende Kapitel die Einführung der



Dimension *Zielqualität* (die explizite Aufforderung, situationale Zustände herzustellen vs. die explizite Aufforderung zum Lernen, vgl. Künsting, Wirth & Leutner, 2006; Künsting, Wirth & Thillmann, 2007; Wirth, Künsting & Leutner, 2007). Anknüpfend an das vorangegangene Kapitel werden zunächst Beispiele für Zielvorgaben aus vier verschiedenen Studien zum Zielspezifitätseffekt in einer Taxonomie überblicksartig gegenübergestellt (Tabelle 3). Es gingen nur Studien ein, die in ihren Untersuchungen keine Konfundierung durch die Darbietung einer anfänglich gemeinsamen unspezifischen Zielvorgabe für alle Probanden der Stichprobe zuließen. Die Taxonomie zeigt, dass drei der vier aufgeführten Studien nur zwischen spezifischen und unspezifischen Zielen unterschieden, die *beide* zum Herstellen situationaler Zustände (Abschnitt 2.2.2.1) aufforderten (bis auf die Studie von Sweller et al., 1983, in der das spezifische Ziel als Frage formuliert war). Jedoch wurden in keiner dieser drei Studien Ziele konzipiert, die explizit zum Wissenserwerb und somit zum Lernen aufforderten. Nur Geddes und Stevenson (1997) stellten ein spezifisches Ziel, das zum Herstellen eines situationalen Zustandes aufforderte, einem unspezifischen Ziel, das zum Lernen aufforderte, gegenüber.

**Tabelle 3:** Taxonomie von Beispielen für Zielvorgaben aus vier bisherigen Studien

|                     | Aufforderung: Situationaler Zustand  | Aufforderung: Lernen  |
|---------------------|--|---|
| Spezifische Ziele   | „Berechne den Wert für den Winkel X!“<br>(Sweller, 1994)                           |   |
|                     | „Bestimme die Seitenlänge X im Dreieck!“ (Sweller, 1988)                           |   |
|                     | „Wie weit ist das Auto gefahren?“<br>(Sweller et al., 1983)                        |   |
|                     | „Bringe Clegg dazu, sich freundlich zu verhalten!“<br>(Geddes & Stevenson, 1997)   |   |
| Unspezifische Ziele | „Berechne die Werte von so vielen Winkeln, wie du kannst!“<br>(Sweller, 1994)      |   |
|                     | „Bestimme so viele Seitenlängen der Dreiecke wie du kannst!“<br>(Sweller, 1988)    |   |
|                     | „Berechne die Werte so vieler Variablen, wie du kannst!“<br>(Sweller et al., 1983) |   |
|                     |  | „Lerne das Verhalten von Clegg zu kontrollieren!“<br>(Geddes & Stevenson, 1997) |

Auch Lerner mit der Fähigkeit, eine komplexe Lernumgebung systematisch zu strukturieren, können dazu neigen, Ziele zu verfolgen, die den Wissenserwerb kaum unterstützen und vorwiegend darauf ausgerichtet sind, einen situationalen Zustand oder ein Ergebnis in Form einer bestimmten Variablenausprägung herzustellen (vgl. Berry & Broadbent 1984; de Jong & van Joolingen, 1998). Glaser et al. (1992; vgl. Schauble et al., 1995; White, 1993) fanden, dass Lernende zu ineffizientem Experimentierverhalten tendieren, wenn sie erfolgsversprechende Ergebnisse anstrebten (*engineering approach*), statt auf das Verstehen von Zusammenhängen zwischen relevanten Variablen hinzuarbeiten (*scientific approach*).

Die im Folgenden skizzierte Studie von Schunk & Swartz (1993; vgl. auch Zimmerman & Kitsantas, 1997) veranschaulicht einen *qualitativen* Unterschied zwischen Zielvorgaben, der konzeptionell durch die Dichotomie sogenannter *Prozessziele* versus *Produktziele* abgebildet wurde. Die Autoren untersuchten bei Kindern zwischen 10-12 Jahren, wie sich die Vorgabe von Prozesszielen (*process goals*) und Produktzielen (*product goals*) während einer Lernphase zum Schreiben auf die Schreibleistung im Posttest auswirken. Prozessziele wurden in einer ersten Gruppe mit, in einer zweiten Gruppe ohne Feedback dargeboten. Die dritte Gruppe mit Produktzielen verblieb ebenfalls ohne Feedback. Die vierte Gruppe erhielt als Kontrollbedingung „allgemeine“ Ziele (*general goals*) ohne Feedback. In einem ersten Experiment wurden allen Probanden vor der Lernphase die einzelnen Schritte einer Schreibstrategie auf dieselbe Weise erklärt, und alle wurden instruiert, dass es hilfreich ist, sich beim Bearbeiten der Ziele ins Gedächtnis zu rufen, was man zu tun versucht. Die Aufgabe bestand darin, einen Textabschnitt zu schreiben, in dem beispielsweise Ereignisse, Personen oder Orte beschrieben werden. Der Unterschied zwischen den Zielen selbst sah so aus: Während unter der Vorgabe eines *Prozessziels* gelernt werden sollte, wie die einzelnen Schritte der Schreibstrategie zum Schreiben eines Textabschnittes genutzt werden können, legte ein *Produktziel* nahe, den entsprechenden Textabschnitt schlichtweg zu schreiben. Die Kinder unter der Bedingung eines *allgemeinen Ziels* (Kontrollgruppe) hingegen sollten während der Bearbeitung „ihr Bestes“ versuchen. Im Ergebnis hinterließen Prozessziele (insbesondere unter zusätzlichem Feedback) eine bessere Schreibleistung (Posttest) als die Produktziele. Die allgemeinen Ziele hinterließen die schlechteste Schreibleistung. In dieser Studie treten deutliche Unterschiede in den *qualitativen* Eigenschaften der Ziele hervor: Während Produktziele dazu auffordern, einen bestimmten situationalen Zustand als Ergebnis zu produzieren (einen Text zu schreiben), fokussieren Prozessziele auf das *Lernen* während des Bearbeitungsprozesses (zu lernen, mit Hilfe der Schreibstrategie einen Text zu schreiben; vgl. Latham & Brown, 2006).

In der vorliegenden Arbeit wird das Prinzip, durch die Aufforderung einer Zielvorgabe einen situationalen Zustand herzustellen, als eine *problemlösezielorientierte*

Herangehensweise an eine Aufgabe verstanden. Deshalb wird eine solche Zielvorgabe in der vorliegenden Arbeit als *Problemlöseziel* bezeichnet. Hingegen wird das Prinzip, durch die Aufforderung einer Zielvorgabe etwas herauszufinden oder zu lernen, als eine *lernzielorientierte* Herangehensweise aufgefasst. Eine solche Zielvorgabe wird in der vorliegenden Arbeit als *Lernziel* bezeichnet. In den zwei nächsten Abschnitten werden die prinzipiellen Eigenschaften von Problemlösezielen und Lernzielen sowie ihre jeweiligen Definitionen ausgearbeitet. Anschließend werden in Abschnitt 3.2.2.3 die Dimensionen Zielqualität (Problemlöseziele vs. Lernziele) und Zielspezifität (spezifische vs. unspezifische Ziele) gegenübergestellt und zu vier verschiedenen Zielarten kombiniert.

### 3.2.2.1 External gesetzte Problemlöseziele

Zielvorgaben, die zum Problemlösen auffordern, wurden in der bisherigen instruktionspsychologischen Forschung oft nicht klar von Zielvorgaben abgegrenzt, die zum Lernen auffordern (vgl. Abschnitt 3.2.1.2). Dass sowohl Lernen als auch Problemlösen Denkprozesse erfordern, lässt sich nicht bestreiten, aber führen *Denkprozesse* zwangsläufig zu *Lernprozessen*?

Nach Funke (2003) erfolgt problemlösendes Denken „...um Lücken in einem Handlungsplan zu füllen, der nicht routinemäßig eingesetzt werden kann. Dazu wird eine Repräsentation erstellt, die den Weg vom Ausgangs- zum Zielzustand überbrückt“ (S. 20). Hussy (1984) definiert Problemlösen als „...das Bestreben, einen gegebenen Zustand (Ausgangszustand oder Ist-Zustand) in einen anderen, gewünschten Zustand (Zielzustand oder Soll-Zustand) zu überführen, wobei es eine Barriere zu überwinden gilt, die sich zwischen Ausgangs- und Zielzustand befindet“ (S.114).

Problemlösen wird für eine Person bei einer entsprechenden Problemstellung immer dann notwendig, wenn ihr Repertoire an Sach- und Handlungswissen nicht hinreichend ist, um einen vorgegebenen situationalen Zielzustand zu erreichen. Durch problemlösendes Denken müssen diese informationalen Lücken gefüllt werden, um einen vollständigen Handlungsplan zu erzeugen, der das Erreichen des Ziels ermöglicht. Statt Problemlösen liegt hingegen bloße *Aufgabenbearbeitung*<sup>7</sup> vor, wenn ein vorgegebener situationaler Zielzustand über die routinierte Anwendung eines hinreichenden Repertoires an Sach- und Handlungswissen erreicht werden kann (Hussy, 1984; vgl. Preußler, 1997). Die Identifikation von Informationen, die zur Lösung eines Problems benötigt werden, findet nach Newell und Simon (1972) in einem *Problemraum* statt. Der Problemraum besteht nach Newell und Simon sowohl aus einem

---

<sup>7</sup> Die vorliegende Arbeit verwendet den Begriff „Aufgabenbearbeitung“ ebenfalls in Zusammenhängen, in denen nicht oder nicht nur die routinierte Anwendung hinreichenden Wissens vorliegt. Wenn die auf dieser Seite aufgeführte spezifische Bedeutung von Aufgabenbearbeitung gemeint ist, so wird dies expliziert.

aktuellen situationalen Zustand, der vom Zielzustand noch mehr oder weniger weit entfernt ist, als auch aus sämtlichen potenziellen situationalen Zuständen, die durch einen oder mehrere Operatoren hergestellt werden können. Operatoren werden als Handlungen verstanden, die sich in definierten Zuständen einsetzen lassen, und die eine definierte Wirkung auf einen solchen Zustand ausüben, indem sie diesen in einen bestimmten neuen Zustand überführen. Das Suchen nach einem bislang unbekannten Operator oder nach einer Sequenz von Operatoren, mit der sich ein aktueller Zustand in den Zielzustand transformieren lässt, macht den Prozess des Problemlösens aus.

In der vorliegenden Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Überwindung einer Barriere zwischen Ist- und Soll-Zustand nicht zwangsläufig mit Erkenntnisgewinn verbunden sein muss, sondern, je nach motivationaler Zielorientierung der Person, auch durch reines Problemlösen geschehen kann. Innerhalb eines Problemlöseprozesses muss also nicht zwangsläufig etwas über das Problem oder die Aufgabe gelernt werden. Soll beispielsweise ohne Bedienungsanleitung und mit wenig Vorwissen die Uhrzeit bei einem DVD-Rekorder eingestellt werden, so könnte man die digitale Anzeige der Uhrzeit auf dem Display des DVD-Rekorders als situationalen Ziel- oder Soll-Zustand begreifen. Die Barriere vom Ist-Zustand (das Fehlen der Uhrzeit-Anzeige) zum Soll-Zustand (die Anzeige der Uhrzeit) könnte über den Einsatz der Problemlösestrategie Mittel-Ziel-Analyse oder durch ein Versuch-Irrtum-Vorgehen überwunden werden. Die Anzeigen auf dem Display oder auf dem Fernsehbildschirm während des Einstellens können zur Rückmeldung über die jeweilige Distanz zwischen Ist- und Soll-Zustand dienen. Versuche der Distanzreduktion (Mittel-Ziel-Analyse) können darin bestehen, bestimmte Tasten der Fernbedienung zu drücken, um einen Zustand zu erzeugen, der dem Zielzustand näher kommt. Die Tastenfunktionen und die damit zusammenhängende Systematik bei der Einstellung der Uhrzeit müssen nicht zwangsläufig verstanden werden. Das Erreichen des Problemlöseziels (die Uhrzeitanzeige) erfordert zudem kein nachhaltiges Einprägen der Vorgehensweise, weil das Ziel nur darin bestand, den situationalen Zustand herzustellen.

Simon und Lea (1974) machen darauf aufmerksam, dass man beispielsweise die Aufgabe „Turm von Hanoi“ sowohl als *Problemlöseaufgabe* als auch als *Aufgabe zum Regellernen* verwenden kann. Bei der Aufgabe „Turm von Hanoi“ müssen drei unterschiedlich große Ringe von Stab A (der Ist-Zustand) zu Stab C (der Soll-Zustand) gelegt werden, wobei Stab B auch benutzt werden kann. Es darf immer nur ein Ring pro Zug genommen werden, immer nur der oberste Ring bewegt werden, und kleinere Ringe müssen immer oberhalb der größeren Ringe liegen. Als Problem ist die Aufgabe gelöst, wenn das spezifische Ziel (alle Ringe zu Stab C transformiert zu haben) erreicht ist. Als Aufforderung zum Regellernen hingegen ist die Aufgabe gelöst, wenn das Ziel erreicht wurde, die Regel zu finden, *wie* man die Ringe von einem Ring zum anderen bewegt.

*Definition von Problemlösezielen.* In Anlehnung an die vorangegangenen Überlegungen wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Problemlöseziel wie folgt definiert: Problemlöseziele fordern explizit zum Herstellen eines situationalen Zustandes in einer Lern- oder Experimentierumgebung auf. Dieser situationale Zustand wird als ein Ergebnis verstanden, das in einer bestimmten Ausprägung einer Variablen oder einer Konstellation von Variablenausprägungen besteht. Das Erreichen eines Problemlöseziels bewirkt eine Veränderung „innerhalb der Umwelt“, aber nicht unbedingt „innerhalb der Person“ in Form von nachhaltiger Wissenserweiterung (vgl. Klauer, 1988).

### **3.2.2.2 External gesetzte Lernziele**

Lernziele intendieren explizit den Erwerb von Wissen. Schunk und Swartz (1993; vgl. Zimmerman & Kitsantas, 1997; vgl. Kapitel 3.2.2) setzten ein solches Lernziel und bezeichneten es als Prozessziel, weil es zu einem Lernprozess während der Bearbeitung einer Aufgabe aufforderte. Burns und Vollmeyer (2002; siehe auch Geddes & Stevenson, 1997) setzten neben Problemlösezielen zwar auch Lernziele (Abschnitt 3.2.1.2), führten die erklärte Varianz im Lernerfolg aber nur auf die Zielspezifität zurück.

Die Durchsicht lehr-lernpsychologischer und erziehungswissenschaftlicher Literatur vermittelt keinen klaren Konsens hinsichtlich der begrifflichen Unterscheidung von *Lernzielen* und *Lehrzielen*. Beispielsweise benutzt Meyer (1977) zwar den Begriff „Lernziel“, definiert ihn jedoch als die sprachlich artikulierte Vorstellung über die durch Unterricht zu bewirkende und gewünschte Verhaltensdisposition eines Lernenden, was eher einem Ziel entspricht, das Lehrende verfolgen. Klauer und Leutner (2007) geben zu bedenken, dass es unsicher ist, ob external gesetzte Lernziele von Lernenden so übernommen und verfolgt werden, wie sie gemeint sind. Brezinka (1974) kritisiert, dass durch die Verwendung des Begriffes Lernziel eine Verfügungsgewalt über Lernprozesse vorgetäuscht wird. Ein Lernziel liegt nur dann vor, wenn Lernende das gedanklich vorweggenommene Lernergebnis eines Lernziels auch selbst wollen. Unter einem Lehrziel versteht Brezinka (1974) das Ziel eines Lehrenden und bezeichnet es als Erziehungsziel: *„Ein Erziehungsziel ist eine Norm, die einen vorgestellten Zustand der Persönlichkeit (bzw. einzelner Persönlichkeitsmerkmale) eines Educanden beschreibt, der durch Erziehung verwirklicht werden soll.“* (S. 111).

*Lehrziele.* In der vorliegenden Arbeit werden Lern- und Lehrziele terminologisch differenziert. Nach behavioristischer Tradition definiert ein Lehrziel den Inhalt (Stimuluskomponente) und das Verhalten (Reaktionskomponente), so dass klar wird, was Lernende durch die Auseinandersetzung mit dem Inhalt wissen oder tun können sollen (Gagné, 1965; Mager, 1969). Solche Lehrziele adressieren Lehrende und teilen ihnen mit, welche spezifischen Anforderungen Lernende erfüllen müssen, um einen Soll-

Zustand als Lernergebnis zu erreichen (vgl. z.B. Mager, 1969, S. 43). Da jedoch *behavioristische Lehrzielkonzeptionen* nur einzelne zu beherrschende Aufgaben definieren und oft kurzfristig zu bewirkende Verhaltensveränderungen angeben, eignen sich kognitivistische Ansätze besser: Sie konzipieren ganze Aufgabenmengen, die laut eines Lehrziels gelöst werden können sollen, und intendieren dauerhafte, durch Lehr-Lernprozesse bedingte Veränderungen von Persönlichkeitsmerkmalen, beispielsweise in Form von Wissen oder Kompetenzen (Klauer, 1987; Klauer & Leutner, 2007).

Die Durchsicht *kognitivistischer Lehrzieldefinitionen* ergibt ebenfalls das Bild von Lehrzielen, die *Lehrenden* und nicht *Lernenden* gesetzt werden (z.B. Anderson & Krathwohl, 2001; Bloom, 1972; Klauer, 1985). Klauer (1987) skizziert eine kognitivistische Lehrzieldefinition, indem er der S-Komponente (Lehrinhalt und seine Präsentationsart) und der R-Komponente (die erwartete Handlung) des behavioristischen Prinzips zuschreibt, dass sie statt eine einzelne Aufgabe eine Aufgabenmenge definieren (Lehrstoff). Die für Lernende bestimmbare Lösungswahrscheinlichkeit von Aufgaben wird als aktuell erreichter Kompetenzgrad dieses Lernenden verstanden. Dieser „Ist-Kompetenzgrad“ eines Lernenden kann zusammen mit einem „Soll-Kompetenzgrad“ (geforderte Ausprägung) ein Lehrziel präzise definieren und überprüfbar machen. Auf instruktionaler Ebene kann es durch eine lernergerechte Formulierung in ein Lernziel transformiert werden (vgl. Abbildung 2).

Anders als beispielsweise Brezinka (1974), nach dem von Lernzielen nur dann gesprochen werden kann, wenn sie von Lernern auch selbst gewollt und übernommen werden, geht die vorliegende Arbeit davon aus, dass Lernziele auch bereits dann vorliegen, wenn sie in Form einer Aufforderung zum Wissenserwerb auf unmittelbar instruktionaler Ebene external gesetzt werden. Wenn Lerner ein external gesetztes Lernziel nicht wollen oder nicht übernehmen, wird es dadurch nicht wieder zum Ziel eines Lehrenden (Lehrziel), aus dem es ursprünglich abgeleitet wurde. In einem solchen Fall wird es nur möglicherweise nicht verfolgt oder nicht erreicht.

*Definition von Lernzielen.* Durch Lernziele als didaktisch aufbereitetes Produkt vorab gebildeter Lehrziele (siehe Abbildung 2) sollen auf unmittelbar instruktionaler Ebene kognitive Aktivitäten für möglichst effiziente Lernprozesse ausgelöst werden. Es umfasst Merkmale, die Lernenden nahe legen, bei Aufgaben deklaratives beziehungsweise prozedurales Sach- oder Handlungswissen zu erwerben (vgl. Brown & Latham, 2002; Winters & Latham, 1996): Als qualitatives Merkmal die explizite Aufforderung zu lernen und als inhaltliches Merkmal die Information, was gelernt werden soll. Wird ein Lernziel übernommen und erreicht, liegt eine Veränderung „innerhalb der Person“ in Form von nachhaltiger Wissenserweiterung vor (vgl. Klauer, 1988). Aufgrund dieser Nachhaltigkeit impliziert ein external gesetztes Lernziel sowohl die Aufforderung zur Identifikation als

auch die zur Integration von Informationen (siehe Abschnitte 2.2.2.2 und 2.2.3.1; vgl. Wirth, 2004).

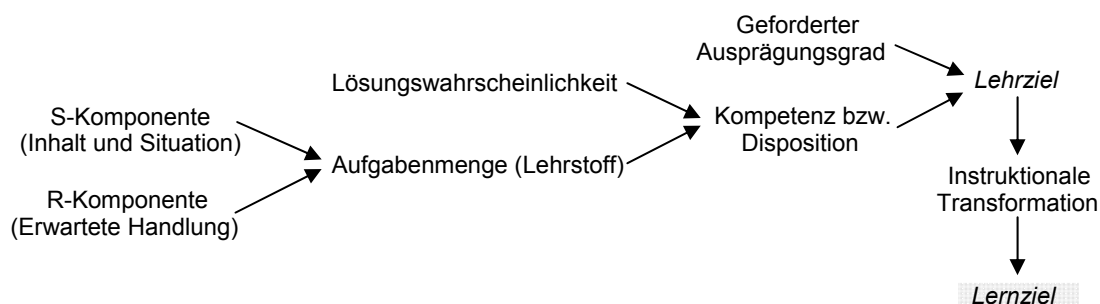


Abbildung 2: Das Lernziel als Produkt eines Lehrziels, angelehnt an Klauer (1987)

### 3.2.2.3 Kombination von Zielspezifität und Zielqualität

Die instruktionspsychologische Forschung unterscheidet zwar zwischen Lernen und Problemlösen (vgl. Klauer, 1988; Simon & Lea, 1974; Sweller, 1983, 1988, 1994; Wirth, 2004). Dies führte jedoch bei bisherigen Studien zur Wirkung externaler Zielvorgaben auf das Lernen und Problemlösen nicht zur Konsequenz, diese Zielvorgaben sowohl qualitativ als auch hinsichtlich ihrer Spezifität klar voneinander zu trennen. In den Arbeiten wurden vorwiegend nur spezifische mit unspezifischen Zielen verglichen (Abschnitt 3.2.1.2). Einige Arbeiten (z.B. Sweller, 1988, 1994) halten dabei die qualitativen Merkmale über die Zielvorgaben hinweg konstant, indem sowohl spezifische als auch unspezifische Zielvorgaben als Aufforderung formuliert waren, einen situationalen Zustand zu erreichen. Die in Abschnitt 3.2.2.1 vorgenommene Definition von Problemlösezielen verdeutlicht, dass Sweller und Mitarbeiter spezifische mit unspezifischen Problemlösezielen verglichen haben (z.B. Owen & Sweller, 1985; Sweller, 1988, 1994; Sweller et al., 1983).

Ein *spezifisches Problemlöseziel* definiert präzise einen *einzelnen*, konkreten situationalen Zustand, der als sichtbares Ergebnis hergestellt werden soll. Ein *unspezifisches Problemlöseziel* hat dagegen einen übergreifenden und vagen Charakter, wodurch ein allgemeiner und weiter gefasster Gesamtzustand gefordert ist. Dessen Erreichen als sichtbares Ergebnis ist mit der Herstellung der Konstellation *mehrerer* situationaler Zwischenzustände verbunden.

Ein *spezifisches Lernziel* fokussiert explizit das nachhaltige Erlernen eines *einzelnen*, konkret und präzise definierten Zusammenhangs. *Unspezifische Lernziele* haben dagegen einen übergreifenden Charakter, so dass sie keine konkreten Beziehungen zwischen bestimmten Parametern, sondern das nachhaltige Erlernen möglichst vieler, nicht explizierter Zusammenhänge fordern.

Eine solche definitorische Abgrenzung ist bei der Konzipierung unterschiedlicher Zielarten notwendig, um die lernerfolgsbezogene Wirkung unterschiedlicher Zielmerkmale klar herauszustellen. Anders als Sweller und Mitarbeiter konzipierten Burns und Vollmeyer (2002; vgl. Geddes & Stevenson, 1997; Vollmeyer & Burns, 2002) zwar Problemlöse- und Lernziele, verglichen aber ein *unspezifisches* Lernziel mit einem *spezifischen* Problemlöseziel und führten Lernerfolgsunterschiede lediglich auf die Zielspezifität zurück. Zusätzlich setzten Burns und Vollmeyer (2002) innerhalb derselben Lernphase einer ihrer Probandengruppen beide Zielarten (vgl. Abschnitt 3.2.1.2). Solche Konfundierungen der Dimensionen Spezifität (spezifische vs. unspezifische Ziele) und Qualität (Problemlöse- vs. Lernziele) verbergen, welcher Teil der Lernerfolgsvarianz auf welche Dimension zurückzuführen ist. Das stellt die Validität der Ergebnisse und Schlussfolgerungen in Frage.

*Fazit.* In der Lehr-Lern-Forschung wurde bisher nicht explizit zwischen Lernzielen und Problemlösezielen unterschieden. Angesichts der Annahme, dass Problemlöseziele dazu auffordern, situationale Zustände oder Ergebnisse zu erreichen (Zustandsveränderung *außerhalb* der Person), und ein Lernziel dazu auffordert, nachhaltig Wissen zu erwerben (Zustandsveränderung *innerhalb* der Person), erweist sich diese Unterscheidung jedoch als notwendig. Lernziele sollten aufgrund ihres lernzielorientierten Aufforderungscharakters den Erfolg selbstreguliert-entdeckender Lernprozesse stärker positiv beeinflussen als Problemlöseziele, für deren Erreichung nachhaltiges Lernen nicht zwingend notwendig ist. Lernziele werden in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht nur von Problemlösezielen abgegrenzt, sondern gleichfalls von Lehrzielen. Während *Lehrziele* für Lehrende definieren, was Lernende wissen oder können sollen, definieren *Lernziele* für Lernende als Produkt eines Lehrziels auf instruktionaler Ebene, was sie lernen sollen. Von außen gesetzte Lernziele verstehen sich als direkte und lernerbezogene Aufforderung zu lernen, was mit größerer Wahrscheinlichkeit zu effizienten Prozessen selbstreguliert-entdeckenden Lernens führen sollte als von außen gesetzte Problemlöseziele.

Um klar zwischen Effekten unterschiedlicher Qualitäten und Spezifitätsgrade von Zielvorgaben auf das Lernen unterscheiden zu können, ist eine Separierung nach Zielmerkmalen unerlässlich. Bisher liegt noch keine Studie vor, in der die Dimensionen Zielspezifität (spezifische vs. unspezifische Ziele) und Zielqualität (Problemlöse- vs. Lernziele) hinsichtlich ihrer Relevanz für das selbstreguliert-entdeckende Lernen durch Experimentieren verglichen wurden (vgl. Abbildung 3). Wird der Spezifitätsgrad zwischen Problemlösezielen und Lernzielen konstant gehalten, können Wirkungsunterschiede zwischen diesen zwei Zielarten mit entsprechend hoher Eindeutigkeit auf die Zielqualität zurückgeführt werden.



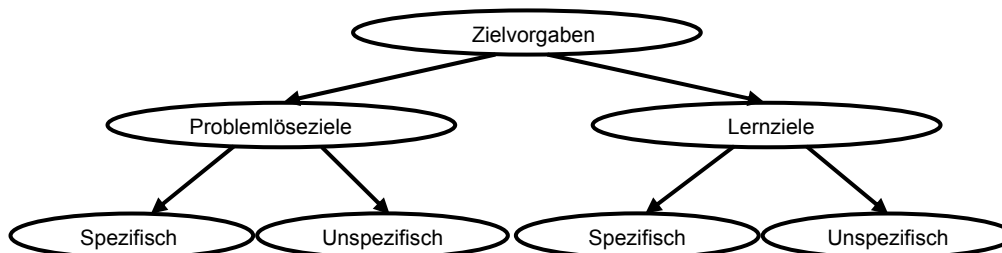


Abbildung 3: Problemlöseziele und Lernziele nach Spezifitätsgrad variiert

### 3.3 Bedingungen für die Übernahme externaler Zielvorgaben

*Zielorientierung und Motivation.* Von internalen Zielorientierungen als motivationale Personenmerkmale wird angenommen, dass sie weitgehend zeitstabil und situationsübergreifend die Herangehensweise von Personen an Aufgaben beeinflussen (Meece et al., 1988; Nicholls, 1992; Nolen, 1988). Sind external dargebotene Zielvorgaben inhaltlich und kontextuell kongruent mit der motivationalen Struktur innerhalb einer Person, so sollte sich dies positiv auf die Übernahme der Zielvorgabe durch die Person (vgl. Brezinka, 1974; Cantor & Fleeson, 1994; Deci & Ryan, 2000; Oettingen & Gollwitzer, 2000; Meyer & Gellatly, 1988) und auf den Lernerfolg auswirken (vgl. Vansteenkiste, Simons, Lens, Sheldon & Deci, 2004). Zwischen Lernzielorientierung als stabiles Personenmerkmal und intrinsischer Motivation<sup>8</sup> wurden in verschiedenen Studien positive Zusammenhänge gefunden (Dweck, 1985; Heyman & Dweck, 1992; Nicholls, 1984; vgl. Ryan, 1982; Rawsthorne & Elliot, 1999; siehe auch Kapitel 2.4). Pintrich und Schrauben (1992) ordneten sogar die Lernzielorientierung der intrinsischen und die Leistungszielorientierung der extrinsischen Motivation zu. Diese Einteilung moniert Schiefele (1996) zurecht, indem er anmerkt, dass Zielorientierungen zwar Auskunft darüber geben, wonach Personen streben (z.B. Kompetenzgewinn vs. Leistungsvergleich), aber nicht darüber, *weshalb* sie ein Ziel verfolgen. Ein lernzielorientiert angestrebter Kompetenzgewinn kann danach auch extrinsisch motiviert sein (z.B. aus beruflich-finanziellen Motiven), so dass statt einer strengen Zuordnung von Lernzielorientierung und intrinsischer Motivation allenfalls eine tendenzielle Kompatibilität dieser Konstrukte wahrscheinlich ist. Dagegen wird eine Leistungszielorientierung immer mit extrinsisch motiviertem Lernen einhergehen, da das Demonstrieren hoher beziehungsweise das Verbergen geringer Leistungen instrumentell ist.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird davon ausgegangen, dass der Grad der Übernahme eines external vorgegebenen Ziels von seinem Übereinstimmungsgrad mit

<sup>8</sup> Eine bezogen auf einen bestimmten Inhaltsbereich intrinsisch motivierte und lernzielorientierte Person würde zwar auch ohne externe Lernzielvorgabe zu Lernhandlungen tendieren, jedoch soll eine Lernzielvorgabe eine Person dazu auffordern das zu lernen, was dem einem Lernziel übergeordneten Lehrziel entspricht.

der internalen Zielorientierung Lernender abhängt und davon, wie motiviert Lernende bezogen auf das gesetzte Ziel sind (vgl. zusätzlich Kapitel 3.1). Ist beispielsweise eine hoch lernzielorientierte Person hoch aktuell motiviert (vgl. Rheinberg et al., 2001) ein external gesetztes Lernziel zu bearbeiten, so ist ein entsprechend hohes Ausmaß der Übernahme dieses Lernziels zu erwarten. Demgemäß ist bei einer gering lernzielorientierten und bezogen auf ein external gesetztes Lernziel aktuell gering motivierten Person ein entsprechend geringeres Ausmaß der Übernahme des externalen Lernziels zu erwarten. Umgekehrt würde danach ein external gesetztes Problemlöseziel eher von einer (aktuell motivierten) Person mit einer hohen motivationalen Orientierung, Probleme zu lösen, übernommen werden als von einer hoch lernzielorientierten Person.

*Selbstwirksamkeitsüberzeugung und Selbstkonzept.* Eine hohe aufgabenbezogene Selbstwirksamkeitsüberzeugung (Boekaerts, 1999; Bong & Skaalvik, 2003; Pintrich, 1999) begünstigt die Übernahme insbesondere von schwierigen Zielvorgaben (Huber & Neale, 1986; vgl. auch Brown & Latham, 2002; Locke & Latham, 1990). Stiensmeier-Pelster et al. (1996) zeigten, dass die Leistung von lernzielorientierten Probanden jedoch weitgehend unabhängig von der Höhe ihres akademischen Selbstkonzeptes eigener Begabung (z.B. Marsh, 1986) ist, während die Leistung bei leistungszielorientierten Probanden durch ein hohes Selbstkonzept begünstigt wird (vgl. Dweck & Leggett, 1988; Eckert et al., 2006). Leistungszielorientierte Personen mit einem geringen akademischen Selbstkonzept neigen nach Misserfolgen zu Hilflosigkeit und attribuieren schlechte Leistungen auf mangelnde Fähigkeiten (Stiensmeier-Pelster et al., 1996), was das Ausmaß der Übernahme weiterer Ziele verringern kann.

*Fazit.* Je kongruenter die interne Zielorientierung der Person mit einer externalen Zielvorgabe ist und je motivierter eine Person bezogen auf diese Zielvorgabe in einer aktuellen Situation ist, umso größer wird das Ausmaß der Übernahme dieser Zielvorgabe durch die Person sein. Beispielsweise sollte die Übernahme einer externalen Lernzielvorgabe in einer aktuellen Lernsituation durch eine hohe interne Lernzielorientierung und eine hohe aktuelle Motivation hinsichtlich des Lernziels begünstigt werden. Auf die gleiche Weise sollte die Übernahme einer externalen Problemlösezielvorgabe durch eine motivationale Orientierung, Probleme zu lösen, und eine hohe aktuelle Motivation bezogen auf das Problemlöseziel, begünstigt werden.

Eine hohe aufgabenspezifische Selbstwirksamkeitsüberzeugung ist generell als förderliche Bedingung für die Übernahme external gesetzter Ziele (Lern- und Problemlöseziele) zu sehen, während die Ausprägung des akademischen Selbstkonzeptes eigener Begabung nur bei leistungszielorientierten Personen die Übernahme eines Ziels beeinflussen sollte.

### 3.4 Cognitive load und externe Zielvorgaben

Selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren kann eine hohe kognitive Belastung darstellen (vgl. z.B. Tuovinen & Sweller, 1999). Die computerbasierte Simulation einer Experimentierumgebung beansprucht beispielsweise mit verbalen Instruktionen und vor allem mit der visuell-räumlichen Darstellung sowohl statischer als auch bewegter Informationen (z.B. Bewegungsabläufe von Objekten) das Arbeitsgedächtnis (Baddeley, 1986, 2003) letztlich in allen seinen Komponenten.

Warum Lernen unter bestimmten instruktionalen Bedingungen, wie zum Beispiel die Art einer Zielvorgabe, begünstigt beziehungsweise benachteiligt wird, lässt sich auch aus der Perspektive kognitiver Belastung erklären, welche von diesen Bedingungen ausgeht (vgl. Ayres, 1993; Halford, Mayberry & Bain, 1986; Mayberry, Bain & Halford, 1986; Owen & Sweller, 1985; Sweller et al., 1983; Sweller, 1988, 1994).

Die in diesem Zusammenhang prominenteste theoretische Basis stellt die *cognitive load*-Theorie (CLT; Chandler & Sweller, 1991, 1992; Sweller, 1988, 1994) dar, welche in den 1980er Jahren ihren Ursprung hat (z.B. Halford et al., 1986; Owen & Sweller, 1985; Sweller, 1988; Sweller et al., 1983) und in den 1990er Jahren entscheidend weiter entwickelt wurde (z.B. Chandler & Sweller, 1996; Paas, 1992; Paas & van Merriënboer, 1994b; Paas, Renkl & Sweller, 2003; Sweller, 1994; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Bevor auf die Rolle externer Zielvorgaben für den *cognitive load* eingegangen wird, sollen das Konzept des Arbeitsgedächtnisses und die darauf basierende *cognitive load*-Theorie beschrieben werden.

#### 3.4.1 Das Arbeitsgedächtnis

Grundlage der *cognitive load*-Theorie ist die Theorie des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 1986; Baddeley & Hitch, 1974). Baddeley schreibt dem menschlichen Arbeitsgedächtnis eine begrenzte Kapazität von im Schnitt sieben Informationseinheiten zu (*chunks*, z.B. Silben oder Ziffern; siehe Miller, 1956) und konstituiert es als Mehrspeichermodell mit drei (später vier) Subsystemen (siehe Abbildung 4). Eine Überlastung der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses erhöht beispielsweise beim schlussfolgernden Denken (als zentrale Komponente des selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren) die Fehlerneigung (Holland et al., 1986; vgl. Klahr & Dunbar, 1988; Toms, Morris & Ward, 1993; van Joolingen & de Jong, 1997).

Das Subsystem der *phonologischen Schleife* (*articulatory loop*) ist experimentell am besten belegt und wird als passiver, temporärer Speicher beschrieben, der sprachbasierte Informationen kodiert (Baddeley, Gathercole & Papagno, 1998; Gathercole & Baddeley, 1993). Baddeley differenziert die phonologische Schleife weiter aus, indem er das Adjektiv *artikulatorisch* benutzt, wenn er die Sprachproduktion meint

und *akustisch*, wenn es um Sprachwahrnehmung geht (z.B. Baddeley, 2003). Laut Baddeley „verblassen“ Gedächtnisspuren im phonologischen Speicher nach etwa zwei Sekunden, wenn sie nicht in einen artikulatorischen Kontrollprozeß eingelesen sowie durch subvokales Wiederholen (*subvocal rehearsal*) und anschließendes Wiedereinspeichern „aufgefrischt“ werden.

Die Funktion des *visuell-räumlichen Notizblocks* (*visuo-spatial sketchpad*) ist experimentell weniger eindeutig belegt. Nach Baddeley (2003) kodiert dieses Subsystem mit begrenzter Kapazität visuell-räumliche Informationen (z.B. Bilder oder räumliche Objektpositionen und -bewegungen) und ist ebenfalls in die mentale Manipulation visuell-räumlicher Informationen involviert (*mental imaging*). Das Lesen von Texten ist nach Baddeley (2003; vgl. Kennedy, 1983) gleichzeitig eine visuelle und eine räumliche Aufgabe, da bei der visuellen Wahrnehmung und Verarbeitung textueller Informationen die Position des Auges im Text beibehalten werden muss. Dazu berichtet Baddeley (2003) einen experimentell bestätigten Interferenzeffekt nur für willkürliche, nicht aber für unwillkürliche Augenbewegungen auf die Bearbeitungsleistung bei visuell-räumlichen Aufgaben. Klauer und Stegmaier (1997) fanden, dass bei einer visuell-räumlichen Aufgabe mehr Ressourcen benötigt wurden als bei einer sprachbasierten Aufgabe.

Die *zentrale Exekutive* (*central executive*) ist die wichtigste und zugleich am wenigsten erforschte Komponente des Arbeitsgedächtnisses. Ihr Konzept beruht auf dem *supervisory attentional system* (SAS) von Norman und Shallice (1986). Gemäß Baddeley ist die zentrale Exekutive ein reines Aufmerksamkeitssystem ohne Speicherfunktion und mit begrenzter Kapazität. Als multimodale Steuerungsinstanz reguliert sie Aufmerksamkeitsressourcen, indem sie durch das Fokussieren von Aufmerksamkeit auf Informationen deren Abruf aus sowie deren Speicherung in die zwei *slave systems* (phonologische Schleife und visuell-räumlicher Notizblock) steuert (Baddeley, 1999, 2002, 2003). Funktionale Komponenten der zentralen Exekutive sind das Fokussieren, Teilen und Koordinieren der Aufmerksamkeit, die Kontrolle des Langzeitgedächtnisses (LZG) sowie der Fokuswechsel von Aufmerksamkeit (*switching-attention*; vgl. Baddeley, 1996a). Je nach Aufgabenart setzt sich die Belastung des Arbeitsgedächtnisses aus unterschiedlichen Anteilen der Belastung seiner drei Subkomponenten zusammen, wobei die zentrale Exekutive als Steuerungsinstanz exekutiver Prozesse (Baddeley, 1996a) immer beteiligt ist und somit einen wesentlichen Faktor für die kognitive Kapazität darstellt (Baddeley, Chincotta & Adlam, 2001).

*Episodischer Puffer* (*episodic buffer*). Der episodische Puffer (Baddeley, 2000a, 2002 vgl. Pearson, 2006; Abbildung 4) ist ein multimodales Speichersystem mit begrenzter Kapazität, das visuell-räumliche und phonologische Informationen aus den zwei *slave systems* temporär speichert und mit Informationen aus dem LZG kombiniert, was durch die zentrale Exekutive koordiniert wird (Baddeley, 2002; vgl. auch Logie, 1995).

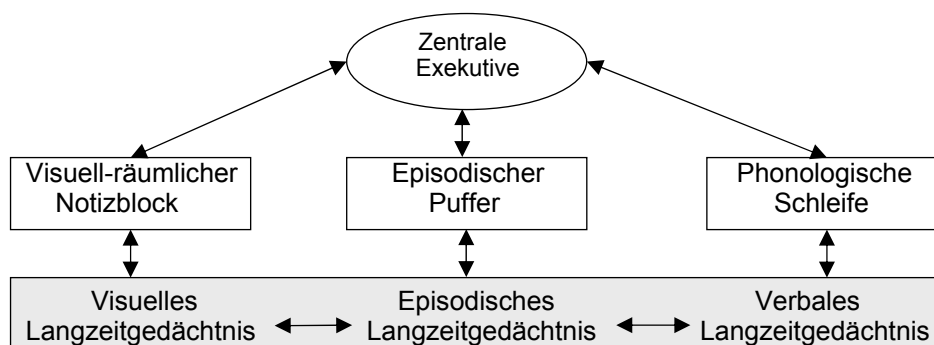


Abbildung 4: Das Modell des Arbeitsgedächtnisses, angelehnt an Baddeley (2002)

### 3.4.2 Die cognitive load-Theorie

Die auf der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses basierende *cognitive load*-Theorie (Chandler & Sweller, 1991, 1992; Sweller, 1994) unterscheidet drei verschiedene Belastungsquellen: *Intrinsic load*, *extraneous load* und *germane load* (vgl. Ayres, 2006; Brünken et al., 2003, 2004; Paas, Renkl, Sweller, 2003, 2004).

*Intrinsic load* entsteht gemäß Sweller allein aus der Komplexität des zu lernenden Materials an sich, und stellt damit die unveränderliche<sup>9</sup> kognitive Anforderungsintensität einer Aufgabe dar (Ayres, 2006; Kalyuga et al., 2003; Paas, Renkl & Sweller, 2003; Sweller, 1994). Determiniert wird der *intrinsic load* einer Aufgabe durch ihre *Elementeinteraktivität* (Aufgabenkomplexität), die mit der Anzahl an untereinander zusammenhängenden Elementen (Informationseinheiten) einer Aufgabe zunimmt. Mit der Zunahme an isoliert voneinander stehenden Elementen wächst zwar die Lernanforderung im quantitativen Sinne (z.B. Vokabellernen), die Elementeinteraktivität ist jedoch gering, weil die Elemente kaum oder gar nicht in Beziehung zueinander stehen (Sweller, 1994). Danach konstituiert sich ein Element für vorwissensfreie Novizen zunächst als die kleinstmögliche und isoliert lernbare Informationseinheit innerhalb einer Aufgabe. Zum Beispiel bedeutet die Aufgabe „A/B multipliziert mit B ist gleich AB/B“ für Lernende ohne entsprechendes Vorwissen, dass drei Elemente miteinander in Beziehung gesetzt werden müssen: A als Zähler, B als Nenner und nochmals das B als Multiplikator, um auf „AB/B“ zu kommen. Experten hingegen, die bereits ein Schema für diese Aufgabe entwickelt haben und beim Anblick von „A/B multipliziert mit B“ wissen, dass es gleich „AB/B“ ist, können dies als eine einzige Informationseinheit (*chunk*, Miller, 1956) verarbeiten, was Sweller (1994, S. 298 und 305) als Schema begreift (vgl. Chi,

<sup>9</sup> Die meisten Arbeiten im Zusammenhang mit der *cognitive load*-Theorie gehen von einem durch die Art der Aufgabendarbietung nicht veränderbaren *intrinsic load* aus. Die Ansicht weniger anderer Arbeiten (z.B. Gerjets, Scheiter & Catrambone, 2004, 2006), den *intrinsic load* einer Aufgabe durch eine iterativ-modulare Darbietung derselben reduzieren zu können, wird in der vorliegenden Arbeit nicht vertreten. Vielmehr wird angenommen, dass durch die schrittweise Darbietung einzelner Aufgabenmodule *die Aufgabe selbst verändert wird* und der *intrinsic load* der ursprünglichen „ganzen“ Aufgabe weiterhin unverändert ist.

Glaser & Rees, 1982). Ein Schema organisiert Elemente gemäß ihrer Interaktivität zu größeren Sinneseinheiten. Erst muss das Wissen über schemakonstituierende Elemente und ihre Reziprozität konsolidiert, also (möglichst störungsfrei) in das Langzeitgedächtnis gelangt sein, bevor es erfolgreich in neuen Lernsituationen angewendet werden kann.

Je höher die Elementeinteraktivität einer Aufgabe ist, desto schwieriger ist sie zu verstehen (Paas, Renkl & Sweller, 2003; Marcus, Cooper & Sweller, 1996), da entsprechend mehr Elemente simultan im Arbeitsgedächtnis aufeinander bezogen werden müssen (Tindall-Ford, Chandler & Sweller, 1997). Sweller beschränkt den Begriff der Elementeinteraktivität jedoch nicht auf Elemente, die allein Bestandteil von Aufgaben sind, sondern führt vom Vorwissen abhängige kognitive Operationen ebenfalls als zu verarbeitende Elemente an: Soll ein Novize beispielsweise die Gleichung „ $A \div B = C$ “ nach „ $A = CB$ “ transformieren, müssen die drei Elemente A, B und C miteinander in Beziehung gesetzt werden, was auf fünf kognitive Operationen hinausläuft, die als „Elemente“ simultan verarbeitet werden müssen (Sweller, 1994, S. 305). *Objektiv* lässt sich der aufgabenimmanente *intrinsic load* nicht verändern, wenn die Aufgabe nicht selbst verändert werden soll. *Subjektiv* hängt seine Höhe vom Vorwissensniveau Lernender ab: Im Vergleich zu Novizen haben Experten mehr Elemente einer Aufgabe bereits zu übergeordneten Elementen zusammengefasst, so dass sie insgesamt weniger Elemente (*chunks*) im Arbeitsgedächtnis verarbeiten müssen (vgl. Abbildung 5).

*Extraneous load* ist nach Sweller die kognitive Belastung, die durch instruktionale Bedingungen einer Aufgabe auferlegt werden und ergibt sich aus der grafischen, textuellen oder strukturellen Gestaltungsart einer Aufgabe (Aufgabendesign). Damit ist der *extraneous load* einer Aufgabe instruktional veränderbar, ohne dass der *intrinsic load* und die Aufgabe selbst verändert werden müssen. Beispielsweise ist der *extraneous load* reduzierbar, indem gedruckte Wörter in die Nähe korrespondierender Teile einer Grafik platziert werden, was die Multimedia-Forschung als *räumlichen Kontiguitätseffekt* bezeichnet (*spatial contiguity effect*; Mayer, 2001; Mayer & Moreno, 2003). Auf *extraneous load* basierte kognitive Aktivitäten tragen nur indirekt oder gar nicht zum Wissenserwerb bei. Sie können das Lernen aber behindern, indem sie die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses belegen, die sonst für Lernprozesse genutzt werden könnte.

*Germane load* definiert Sweller als die kognitive Belastung, welche in lernförderliche Aktivitäten bei einer Aufgabe investiert wird: Tiefes und bedeutungstiftendes Auseinandersetzen mit einer Aufgabe, das Abspeichern von Informationen sowie die Automatisierung von Schemata (vgl. Bannert, 2002). Zwar sollte ausreichend Arbeitsgedächtniskapazität für den *germane load* frei bleiben beziehungsweise geschaffen werden, indem mittels einer didaktisch durchdachten Aufgabengestaltung der *extraneous load* auf ein unvermeidbares Maß reduziert wird (z.B. Ayres, 2006; Chandler & Sweller, 1991; Mayer & Moreno, 2003; Paas, Tuovinen, Tabbers & Van Gerven, 2003;

Sweller, 1988, 1994). Der *cognitive load* sollte aber nicht in erster Linie insgesamt reduziert, sondern optimiert werden, so dass sich die Anregung zur Investierung in den *germane load* empfiehlt (Paas & van Gog, 2006), beispielsweise indem eine entsprechende kognitive Aktivierung mittels geeigneter Lernzielvorgaben erhöht wird. Paas, Renkl und Sweller (2004) weisen darauf hin, dass eine unbedachte Reduktion des *extraneous load* gleichzeitig auch den *germane load* reduzieren kann. So argumentieren auch Schnotz und Rasch (2005), dass instruktionales Erleichtern der Lernbedingungen einer Aufgabe (z.B. Animationen) Lernende von eigenen kognitiven Prozessen abhalten kann, die eine entscheidende Voraussetzung für anschließenden Lernerfolg sind. Nach dem sogenannten *expertise reversal effect* (Kalyuga et al., 2003) können zusätzliche instruktionale Hilfen (z.B. zusätzliche Diagramme) in Abhängigkeit vom Vorwissen das Lernen sogar behindern, weil sie schwer zu ignorieren sind, aber von Experten nicht benötigt werden und als redundante Informationen unnötig *cognitive load* kosten. Novizen jedoch können auf diese instrukionalen Hilfen angewiesen sein und ihr Lernen durch sie verbessern (vgl. auch Kalyuga, 2006; Sweller, 2006).

Je nach Ausmaß des Vorwissens muss (bei gleicher Aufgabe) ein unterschiedlich hohes Ausmaß an mentaler Kapazität in den *intrinsic load* investiert werden, so dass ein entsprechend unterschiedlich hohes Ausmaß an mentaler Kapazität für den *germane load* verbleibt (siehe Abbildung 5). Paas, Tuovinen, van Merriënboer und Darabi (2005) legen in ihrer Arbeit nahe, die mentale Anstrengungsbereitschaft von Lernenden zu erhöhen, indem dafür notwendige motivationale Bedingungen von Aufgaben identifiziert werden. Nach Xie und Salvendy (2000) fluktuiert dabei die Intensität des durch die Person investierten *cognitive load* über die Zeit einer Aufgabenbearbeitung stetig, da beispielsweise die aktuelle Motivation (vgl. Rheinberg et al., 2001) die mentale Anstrengungsbereitschaft pro Zeiteinheit beeinflusst (vgl. Paas et al., 2005).

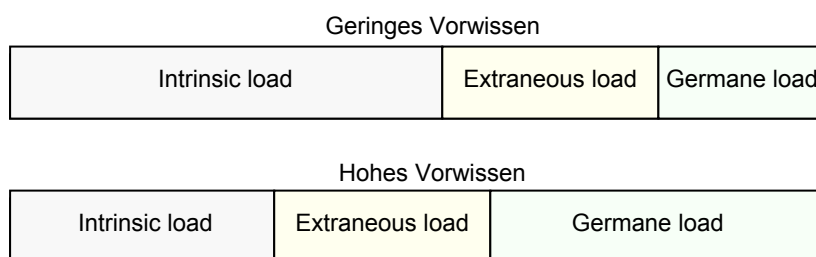


Abbildung 5: Beispiel für die verbleibende kognitive Kapazität für den *germane load* in Abhängigkeit vom Vorwissen (bei angenommener Konstanz des *extraneous load*)

### 3.4.3 Cognitive load und Zielspezifität

In Anlehnung an die Arbeiten von Halford et al. (1986), Mayberry et al. (1986), Owen und Sweller (1985), Sweller (1988, 1994) sowie Sweller et al. (1983) kann davon

ausgegangen werden, dass der *cognitive load* bei unspezifischen Problemlösezielen geringer ist als bei spezifischen Problemlösezielen (vgl. Ayres, 1993; Trumpower et al., 2004). Laut Sweller (1988, 1994) ist dies auf die hohe kognitive Belastung durch den mittels spezifischer Problemlöseziele evozierten Einsatz der Problemlösestrategie Mittel-Ziel-Analyse (Newell & Simon, 1963) zurückzuführen, die nach Sweller zwar gut zum Problemlösen, aber weniger zum Lernen geeignet ist (vgl. Chi et al., 1982).

*Cognitive load und Mittel-Ziel-Analyse.* Nach Halford et al. (1986), Mayberry et al. (1986) sowie Sweller (1994) ist die Elementeinteraktivität einer Aufgabe eine primäre Determinante für die Intensität der kognitiven Belastung im Sinne des *intrinsic load*. Gemäß Sweller (1988, 1994) kann ein vorgegebenes spezifisches Problemlöseziel im Falle einer ausreichend hohen Elementinteraktivität der Aufgabe einen entsprechend hohen *cognitive load* bei einer Person erzeugen, da beim Einsatz der Mittel-Ziel-Analyse folgende Einheiten simultan verarbeitet werden müssen: (1) Das Endziel (Soll-Zustand), (2) der aktuelle Problemzustand (Ist-Zustand), (3) die Differenzen zwischen diesen Zuständen, (4) die Auswahl und Anwendung geeigneter Problemlöseoperatoren und (5) die Relationen zwischen 1, 2, 3 und 4 (vgl. auch Green, 2002). Wenn bei spezifischen Problemlösezielen meist Problemlösestrategien wie die Mittel-Ziel-Analyse angewendet werden, müssen hier auch mehr Speicheroperationen und Fokuswechsel der zentralen Exekutive des Arbeitsgedächtnisses erfolgen als bei unspezifischen Problemlösezielen. Wird ein aktuell gewählter Problemlöseoperator (z.B. eine mathematische Formel) eingesetzt, so muss die zentrale Exekutive Aufmerksamkeit auf ihn richten: Die Elemente des Problemlöseoperators (z.B. die Koeffizienten der mathematischen Formel) müssen in der phonologischen Schleife beziehungsweise im visuell-räumlichen Notizblock aufrechterhalten und aufeinander bezogen werden. Die hierdurch bereits benötigten Verarbeitungsressourcen stehen nicht mehr für das Aufrechterhalten der anderen Elemente zur Verfügung: Das Ziel, der aktuelle Problemzustand, die Differenzen zwischen unterschiedlichen Problemzuständen und die Relationen zwischen diesen Einheiten. Um aber das Ziel und den Weg dorthin nicht aus den Augen zu verlieren, müssen diese Elemente zusätzlich aufrechterhalten und aufeinander bezogen werden. Für die für das nachhaltige Integrieren der identifizierten Informationen notwendigen Speicheroperationen ist entsprechend weniger Kapazität übrig. Werden identifizierte Informationen jedoch nicht durch rehearsal-Prozesse gesichert, verblassen sie und müssen neu beschafft werden (z.B. Baddeley, 2003).

*Dual-task-Belastung.* Spezifische Problemlöseziele führen (anders als unspezifische Problemlöseziele) nach Sweller (1988, 1994) zusätzlich zu einer *dual-task-Bedingung*: Es überwiegen kognitive Aktivitäten des Problemlösens (*primary task*), so dass relativ wenig Kapazität des Arbeitsgedächtnisses für lernprozessrelevante kognitive Aktivitäten (*secondary task*) verbleibt. Allerdings drängt sich der Gedanke auf, dass eine solche



dual-task-Bedingung unter spezifischen Problemlösezielen nur für lernzielorientierte Personen entsteht, die zusätzlich zum Problemlösen lernen wollen. Bei einer unspezifischen Problemlösezielvorgabe hingegen neigen Personen nicht dazu, kognitiv belastende Problemlösestrategien wie die Mittel-Ziel-Analyse einzusetzen, sondern richten ihre Aufmerksamkeit vielmehr auf lernrelevante Aspekte einer Aufgabe (z.B. Sweller, 1988, 1994). Bei einer unspezifischen Problemlösezielvorgabe braucht eine Person jeweils nur den aktuellen Problemzustand und den entsprechenden Problemlöseoperator simultan zu verarbeiten, so dass bei gleich bleibendem *intrinsic load* der Aufgabe eine wesentlich geringere instruktionsbedingte Elementeinteraktivität kognitiver Operationen generiert wird (Sweller, 1994). Dadurch steht mehr kognitive Kapazität für Lernprozesse zur Verfügung.

*Fazit.* Verlaufsart und Erfolg von Lernprozessen hängen von der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ab, das aufgaben- und zielvorgabenbedingten Anforderungen nur mit limitierten aufmerksamkeitsbezogenen, sprachlichen und visuell-räumlichen Ressourcen begegnen kann. Die Forschungsansätze zum *cognitive load* untersuchen kognitive Belastungen, die von der Aufgabenkomplexität (*intrinsic load*), von der instruktionalen Gestaltungsweise einer Aufgabe (*extraneous load*) und von Lernprozessaktivitäten (*germane load*) ausgehen. Der *intrinsic load* einer Aufgabe selbst ist unveränderlich. Subjektiv aus der Personenperspektive betrachtet, kann der *intrinsic load* jedoch bei ein und derselben Aufgabe für Personen mit geringem Vorwissen höher sein als für jene mit hohem Vorwissen. Der *extraneous load* von Lernumgebungen lässt sich optimieren (z.B. redundantes Material entfernen; vgl. Mayer, 2001; Mayer & Moreno, 2003). Durch lernförderliche Instruktionen (z.B. geeignete Zielvorgaben) kann zudem die Investition kognitiver Anstrengung in Lernprozesse (*germane load*) angeregt werden. Unspezifische Problemlöseziele regen dazu an, den *cognitive load* in lernrelevante Prozesse zu investieren, während spezifische Problemlöseziele einen wesentlichen Anteil des *cognitive load* an Problemlöseprozesse bindet. Spezifische und unspezifische Lernziele sollten jeweils keine Anwendung der Problemlösestrategie Mittel-Ziel-Analyse auslösen, da beide Zielarten zum Lernen auffordern, statt zum Problemlösen.

### **3.5 Zusammenfassung**

Die bisherige Forschung zur Wirkung von externalen Zielvorgaben auf Problemlöse- und Lernprozesse unterschied hauptsächlich zwischen spezifischen und unspezifischen Zielen. Organisationspsychologische Studien finden bei unspezifischen Zielvorgaben höhere Leistungen als bei spezifischen Zielvorgaben. Sie untersuchen aber meist *berufsrelevante Leistungen in der Zielerreichung selbst* als abhängige Variable. Instruktionspsychologische Studien des pädagogisch-psychologischen Kontexts zeigen

hingegen, dass unspezifische Zielvorgaben zu höheren *Problemlöse- und Lernleistungen in Posttests nach der Zielbearbeitung* führen als spezifische Zielvorgaben. Ein Teil dieser Arbeiten geht zwar auf Unterschiede zwischen Problemlöse- und Lernprozessen ein. Diese Unterscheidung mündete bislang jedoch nicht in die Konsequenz, diese qualitativen Unterschiede auch bei der Konstruktion der Zielvorgaben zu berücksichtigen und die Effekte explizit differentiell zu untersuchen. Stattdessen wurden nur spezifische mit unspezifischen Problemlösezielen oder spezifische Problemlöseziele mit unspezifischen Lernzielen verglichen, ohne diesen qualitativen Unterschied explizit mit einbezogen zu haben. Unterschiede im Lern- oder Problemlöseerfolg werden in den entsprechenden Studien trotzdem nur auf den Spezifitätsgrad der Ziele und nicht auf qualitative Unterschiede zurückgeführt, so dass die zwei Dimensionen *Zielspezifität (spezifische vs. unspezifische Ziele)* und *Zielqualität (Problemlöseziele vs. Lernziele)* konfundiert wurden.

In der vorliegenden Arbeit werden nicht nur spezifische Ziele (ein konkreter und präziser situationaler Zustand bzw. Zusammenhang wird fokussiert) von unspezifischen Zielen (eine Konstellation von situationalen Zuständen bzw. von Zusammenhängen wird vage und allgemein als Ganzes fokussiert) unterschieden. Vor allem wird auch ein deutlicher Unterschied zwischen Lernzielen und Problemlösezielen gemacht: Ein Problemlöseziel fordert zum Herstellen eines oder mehrerer situationaler Zustände „außerhalb der Person“ auf, wozu ein nachhaltiger Wissenserwerb nicht zwangsläufig erforderlich ist. Ein Lernziel fordert hingegen explizit dazu auf, durch das Herausfinden von Zusammenhängen zwischen Variablen den Wissenszustand „innerhalb der Person“ nachhaltig zu verändern. Lernziele werden in der vorliegenden Arbeit von Lehrzielen abgegrenzt, da ein Lehrziel ein Ziel für Lehrende ist und aus ihrer Perspektive definiert, was Lernende können oder wissen sollen. Ein Lernziel hingegen besteht in einer instruktional aufbereiteten und unmittelbar an den Lerner gerichteten Aufforderung. Es versteht sich als aus einem Lehrziel abgeleitetes Produkt. Problemlöseziele und Lernziele können wiederum jeweils spezifisch oder unspezifisch konzipiert werden, so dass letztlich vier unterschiedliche Arten von Zielvorgaben zu vergleichen sind.

Es wird davon ausgegangen, dass die Übernahme external gesetzter Ziele durch eine Person durch eine kongruente internale Zielorientierung und eine hohe aktuelle Motivation der Person begünstigt wird. Beispielsweise sollte der Übernahmegrad external gesetzter Lernziele umso höher sein, je lernzielorientierter Personen sind und je höher ihre aktuelle Motivation bezogen auf jeweils gesetzte Lernziele ist.

Die Unterschiede im Lern- und Problemlöseerfolg, die sich in Abhängigkeit vom Spezifitätsgrad external gesetzter Problemlöseziele gezeigt haben, wurden insbesondere in den Arbeiten von Sweller und Mitarbeitern auf die Belastung des Arbeitsgedächtnisses (*cognitive load*) zurückgeführt. Sweller interpretiert die größere Lern- und

Problemlöseleistung nach der Vorgabe unspezifischer Problemlöseziele im Vergleich zu spezifischen Problemlösezielen so, dass spezifische Problemlöseziele die Tendenz zur Anwendung der Mittel-Ziel-Analyse als Problemlösestrategie auslösen. Der Einsatz dieser Strategie ist nicht effizient für das Lernen, sondern in erster Linie für die Lösung von Problemen und erlegt zusätzlich einen hohen *cognitive load* auf. Unspezifische Problemlöseziele lösen nach Sweller hingegen die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf lernrelevante Aspekte einer Aufgabe aus.

Lernförderliche Bedingungen in eine Lernumgebung zu implementieren, heißt einerseits den *extraneous cognitive load* durch instruktionale Gestaltungsprinzipien der Aufgabe in Maßen gering zu halten (z.B. redundantes Material entfernen) und andererseits die Investition der kognitiven Ressourcen Lernender in den lernförderlichen *germane cognitive load* zu erhöhen (z.B. durch geeignete Lernziele).

#### **4        Forschungsanliegen dieser Arbeit**

Der theoretische Rahmen der vorliegenden Arbeit umfasst das selbstreguliert-entdeckende Lernen durch Experimentieren und seine Einflussfaktoren in Form von kognitiven und motivationalen Variablen als Personenmerkmale (vgl. zusammenfassend Kapitel 2.5). Als Hauptanliegen wird in einer experimentellen Studie der Einfluss externaler Zielvorgaben auf Variablen des selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren untersucht. Diese Lernform steht im Vordergrund, weil die Forschung zur Lernförderlichkeit von Schülerexperimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht das Resümee schwacher Lernerfolge zieht. Eine mögliche Ursache sind ungeeignete Zielvorgaben, die zu keiner elaborierten Verarbeitung des Lerngegenstandes führen (vgl. Kapitel 1; siehe z.B. Seidel et al., 2002).

Um selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren in Abhängigkeit von externalen Zielvorgaben verwirklichen und an einer ausreichenden Anzahl von Probanden ökonomisch untersuchen zu können, wurde zunächst eine computerbasierte Experimentierumgebung<sup>10</sup> gemäß dem SDDS-Ansatz (Klahr & Dunbar, 1988; Abschnitt 2.2.2.1) entwickelt und evaluiert. Mit Blick auf das oben genannte Defizit gerade bei Schülerexperimenten besitzt diese interaktive Experimentierumgebung einen curricular validen physikalischen Inhaltsbereich: „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Mit der Entwicklung computersimulierter Experimentierumgebungen (z.B. Alessi & Trollip, 1985; Chen & Zhang, 2006; de Jong & van Joolingen, 1998; Leutner, 1990; van Joolingen & de Jong, 1997) wurden Instrumente geschaffen, mit denen selbstreguliert-entdeckendes Lernen

---

<sup>10</sup> Die Lernumgebung der vorliegenden Arbeit wird als „Experimentierumgebung“ bezeichnet, da dieser Begriff zum einen das selbstreguliert-entdeckende Lernen durch Experimentieren besser repräsentiert. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass unter spezifischen Problemlösezielen nicht zwangsläufig Lernen erfolgt, so dass der Begriff Experimentierumgebung neutraler ist.

durch Experimentieren vergleichsweise einfach und ebenso präzise untersucht werden kann (z.B. Klahr & Dunbar, 1988; Kröner, 2001; Künsting et al., im Druck). In solchen Experimentierumgebungen können Lerner aktiv Experimente simulieren, Hypothesen bilden und testen, Schlussfolgerungen ziehen sowie auf instruktionale Lern- oder Problemlösehilfen zurückgreifen, die sich als Module in computerbasierte Experimentierumgebungen einbauen lassen (de Jong & van Joolingen, 1995). Computersimulationen ermöglichen Lernenden, ihr Wissen so konstruieren, wie es Wissenschaftler tun: Lerner können einem computersimulierten System *Input* zufügen, den *Output* beobachten, Schlussfolgerungen daraus ziehen und zum nächsten Experiment übergehen (de Jong et al., 1998; vgl. Lewis & Want, 1980; Reigeluth & Schwartz, 1989). Computersimulationen bieten einen Ausschnitt aus der Realität (Leutner, 1990), sind an sich verändernde Ansprüche adaptierbar, visualisieren unter sicheren Bedingungen Prozesse, die in realen Experimentiersituationen unsichtbar wären und sind ökonomisch einsetzbar (de Jong et al., 2005). Derartige computerbasierte Lernumgebungen sind damit als Instrument für die Verwirklichung selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren und den Erwerb flexibel transferierbaren Wissens geeignet (de Jong et al. 1998).

Bevor auf die experimentelle Studie eingegangen wird, werden in einer korrelativen Studie zunächst Fragestellungen untersucht, welche die Evaluation der entwickelten Experimentierumgebung sowie der Instrumente für die Erfassung des Lernerfolgs und der Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren betreffen. Zudem werden die Zusammenhänge der für selbstreguliert-entdeckendes Lernen relevanten Variablen, wie Strategienutzung, Vorwissen, Intelligenz, aktuelle Motivation und Interesse mit Lernerfolg überprüft (vgl. Kapitel 2.3).

#### **4.1 Ziele der korrelativen Studie**

*Eignung der computerbasierten Experimentierumgebung als Erhebungsinstrument.* Für die entwickelte Experimentierumgebung war zuerst zu prüfen, ob sie über ausreichende Lernwirksamkeit verfügt und zu einer messbaren Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren anregt. Mit Blick auf bisherige Untersuchungen (Klieme, Leutner & Wirth, 2005; Kröner, 2001; Künsting et al., im Druck; Leutner et al., 2005; Wirth, Meyer & Leutner, 2005) wird zum einen geprüft, ob sich bedeutsame Zusammenhänge zwischen der Nutzung der isolierenden Variablenkontrolle und Lernerfolg in der vorliegenden, computerbasierten Experimentierumgebung zeigen. Zum anderen wird die Konstruktvalidität der Instrumente für den Lernerfolg und die Strategienutzung korrelativ getestet. Dabei werden bedeutsame Zusammenhänge zwischen deklarativ-konzeptuellem Lernerfolg, Wissensanwendung, Strategienutzung und Intelligenz angenommen.

Das *erste Ziel* dieser Arbeit ist somit eine Evaluation der computerbasierten Experimentierumgebung und weiterer Instrumente innerhalb einer korrelativen Studie.

*Isolierende Variablenkontrolle als eigenständiger Prädiktor für den Lernerfolg unter Kontrolle weiterer lernerfolgsrelevanter Variablen.* Die Strategienutzung bezieht sich auf die insbesondere beim experimentierenden Lernen in physikalischen Domänen relevante *between*-Variante der isolierenden Variablenkontrolle (IVK-*between*, siehe Abschnitt 2.2.2.2), welche bislang nahezu ausschließlich in Interventionsstudien mit realen Experimentierkontexten untersucht wurde (Künsting et al., im Druck). Zudem wurden in diesen Studien Faktoren, die potenziell einen Einfluss auf die Wirksamkeit der IVK-*between*-Strategienutzung auf den Lernerfolg haben können (wie z.B. Intelligenz, Motivation, metakognitives Strategiewissen oder domänenspezifisches Vorwissen) nicht hinreichend berücksichtigt (z.B. Chen & Klahr, 1999). Entsprechende Ergebnisse, wie sie im Hinblick auf die IVK-*within*-Variante berichtet werden (z.B. Kröner, 2001), lassen sich nicht ohne weiteres auf die IVK-*between*-Variante übertragen, da man von deutlichen Unterschieden zwischen diesen Varianten ausgehen muss (Abschnitt 2.2.2.2; Künsting et al., im Druck; Wirth et al., 2005). Es besteht daher die Frage, inwieweit die IVK-*between*-Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren den Lernerfolg vorhersagt, wenn zusätzlich weitere Prädiktoren als Kontrollvariablen in das Prädiktionsmodell aufgenommen werden.

Ein *zweites Ziel* der korrelativen Studie ist deshalb zu prüfen, ob sich die Strategienutzung<sup>11</sup> auch unter jeweiliger Kontrolle von Intelligenz, Motivation und metakognitivem Strategiewissen als bedeutsamer Prädiktor für den Erfolg selbstreguliert-entdeckenden Lernens erweist. Dies ist bezugnehmend auf die bisherige Forschung anzunehmen (z.B. Artelt, Schiefele & Schneider, 2001; Boekaerts, 1996; Kröner, 2001; Kröner, Plass & Leutner, 2005; Schlagmüller & Schneider, 1999).

*Der Einfluss von Vorwissen auf die Effekte der Strategienutzung auf den Lernerfolg.* Bei der Nutzung von Lernstrategien beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen in einem realen Experimentiersetting oder in einer computerbasierten Experimentierumgebung, die einen realen Inhaltsbereich simuliert, können domänenspezifische Vorwissenseffekte nicht ausgeschlossen werden (z.B. Süß, 1996). Ein ausreichend hohes Vorwissen ist die Basis für das Aufstellen von Hypothesen (vgl. Klahr & Dunbar, 1988; Schunn & Anderson, 1999), die durch strategische Experimente überprüft werden können, was die Nutzbarkeit von Strategien und ihren Einfluss auf den Lernerfolg begünstigt (Kapitel 2.3.2; vgl. Baumert & Köller, 1996; Künsting et al., im Druck; Schraagen, 1993).

---

<sup>11</sup> Im Folgenden steht der Begriff Strategienutzung immer für die Nutzungshäufigkeit der *between*-Variante der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle. Ist von einer anderen Strategie die Rede, so wird dies kenntlich gemacht.

Darum besteht das *dritte Ziel* der korrelativen Studie in der Überprüfung der Annahme, dass der Zusammenhang zwischen Strategienutzung und Erfolg des selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren bedeutsam durch Vorwissen moderiert wird (Künsting et al., im Druck).

## **4.2 Ziele der experimentellen Studie**

*Die Rolle der Zielqualität für den Erfolg des selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren im Vergleich zur Zielspezifität.* Werden spezifische Problemlöseziele mit unspezifischen Lernzielen verglichen, die Distinktheit ihrer Effekte auf anschließenden Lern- und Problemlöseerfolg jedoch nur auf den Unterschied in ihrem Spezifitätsgrad zurückgeführt (z.B. Burns & Vollmeyer, 2002; Geddes & Stevenson, 1997), sind die Wirkfaktoren nicht eindeutig zu bestimmen. Die Rolle der Dimensionen Zielspezifität (spezifische vs. unspezifische Ziele) und Zielqualität (Lernziele vs. Problemlöseziele) für den Lernerfolg ist in einem solchen Fall aufgrund ihrer Konfundierung nicht herausstellbar. Eine qualitative Beschränkung auf die Vorgabe spezifischer und unspezifischer Problemlöseziele (z.B. Owen & Sweller, 1985; Sweller, 1988, 1994; Sweller et al., 1983) vermeidet zwar eine Konfundierung, klammert jedoch das Wirkungspotenzial von Lernzielen aus.

Ein lernerfolgsbezogener signifikanter Unterschied im Spezifitätsgrad wird nur bei Problemlösezielen erwartet: Die Freiheitsgrade unspezifischer Problemlöseziele ermöglichen eine lernzielorientierte Herangehensweise, während spezifische Problemlöseziele wenig oder keinen Freiraum zum Lernen bieten. Da aber ein unspezifisches Problemlöseziel, genau wie ein spezifisches, zum Problemlösen auffordert, werden nicht alle Personen unter dieser Bedingung den Freiraum für Lernprozesse verwenden. Beispielsweise sollten Personen, die das Lösen von Problemen gegenüber dem Lernen vorziehen und wenig lernzielorientiert sind, auch unter unspezifischen Problemlösezielen stärker das Lösen des Problems verfolgen, anstatt eigene Lernziele zu setzen und zu verfolgen. Jedoch werden bei solchen Personen sowohl spezifische als auch unspezifische Lernziele, die nicht zum Problemlösen, sondern explizit zum Lernen auffordern, immer noch eher Lernprozesse in Gang setzen als unspezifische Problemlöseziele (wenn auch stärker external als internal reguliert; vgl. Deci & Ryan, 2000). Genauso wie bei Problemlösezielen offerieren zwar auch unspezifische Lernziele mehr Freiheitsgrade als spezifische Lernziele. Dieser Freiraum ist jedoch nicht notwendig, um ein Problemlöseziel durch ein Lernziel zu ersetzen, da sowohl spezifische als auch unspezifische Lernziele bereits explizit und direkt zum Lernen auffordern, und nicht zum Problemlösen. Demnach sollte der Spezifitätsgrad bei Lernzielen nur eine untergeordnete Rolle für den Lernerfolg spielen.

Danach zu unterscheiden, ob eine Zielvorgabe Problemlösen oder Lernen intendiert, sollte basierend auf den obigen Überlegungen eine größere Rolle für den Lernerfolg spielen als danach zu unterscheiden, ob eine Zielvorgabe spezifisch oder unspezifisch ist. Da sowohl spezifische als auch unspezifische Lernziele explizit zum Lernen auffordern, sollten sie unabhängig vom Spezifitätsgrad zusammen einen größeren Lernerfolg bewirken als spezifische und unspezifische Problemlöseziele zusammen, die beide explizit zum Problemlösen auffordern. Dies wird in der vorliegenden Untersuchung als *Zielqualitätseffekt* bezeichnet.

Das *erste und zentrale Ziel* der experimentellen Studie ist demnach zum einen, die beiden Dimensionen Zielspezifität und Zielqualität hinsichtlich ihrer Rolle für den Erfolg von selbstreguliert-entdeckenden Lernprozessen zu vergleichen. Zum anderen wird überprüft, ob Lernziele einen größeren Lernerfolg bewirken als Problemlöseziele.

*Die Rolle der Zielqualität für den cognitive load und die Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren im Vergleich zur Zielspezifität. Cognitive load.* Da die kognitiv belastende Mittel-Ziel-Analyse gemäß Sweller (1988, 1994) vornehmlich unter der Vorgabe spezifischer, aber nicht oder weniger häufig unter der Vorgabe unspezifischer Problemlöseziele angewendet wird, sollten sich unspezifische Problemlöseziele im *cognitive load* nicht substantiell von Lernzielen unterscheiden. Ist die internale Zielorientierung einer Person mit external spezifischen Problemlösezielen kongruent, könnte dies zwar über den Einsatz der Mittel-Ziel-Analyse einen hohen *cognitive load* bewirken. Es sollte aber zumindest keine dual-task-Bedingung (Kapitel 3.4; 3.4.3; Sweller, 1988, 1994) entstehen, weil eine solche Person nicht dazu neigen wird, Problemlöse- und Lernprozesse parallel zu bewältigen. Überdies ist es plausibel, dass intensive Lernprozesse selbst ebenfalls das Arbeitsgedächtnis stark beanspruchen können. Insgesamt wird deshalb angenommen, dass Problemlöse- und Lernziele keine bedeutsamen Unterschiede im Gesamtausmaß des *cognitive load* bewirken.

*Strategienutzung.* Die Nutzungshäufigkeit der isolierenden Variablenkontrolle als Lernstrategie sollte nur bei spezifischen, nicht aber bei unspezifischen Problemlösezielen bedeutsam geringer sein als bei spezifischen und unspezifischen Lernzielen. Da unspezifische Problemlöseziele selbst eine lernzielorientierte Herangehensweise ermöglichen (Sweller, 1988, 1994), sollten sie ebenfalls die Lernstrategienutzung begünstigen (vgl. Vollmeyer et al., 1996).

Weil sowohl spezifische als auch unspezifische Lernziele explizit zum Lernen auffordern, sollten sie beide zu einer vergleichbaren Häufigkeit der Strategienutzung führen. Daher sollte die Zielspezifität für die Strategienutzung nur bei Problemlösezielen eine Rolle spielen, nicht aber bei Lernzielen. Zusammen sollten Lernziele immer noch

eine häufigere Strategienutzung bewirken als spezifische und unspezifische Problemlöseziele zusammen, die beide explizit zum Problemlösen auffordern.

Entsprechend beinhaltet *das zweite Ziel* der experimentellen Studie zum einen, die beiden Dimensionen Zielspezifität und Zielqualität hinsichtlich ihrer Rolle für den *cognitive load* zu vergleichen und zu prüfen, ob Problemlöse- und Lernziele einen vergleichbar hohen *cognitive load* bewirken. Zum anderen sollen die Dimensionen Zielspezifität und Zielqualität hinsichtlich ihrer Rolle für die Strategienutzung verglichen werden. Eine offene Frage hierbei ist, ob Lernziele eine häufigere Strategienutzung bewirken als Problemlöseziele.

*Die Replikation des Zielspezifitätseffekts.* Der Zielspezifitätseffekt (unspezifische Problemlöseziele bewirken mehr Lernerfolg als spezifische Problemlöseziele; Sweller, 1988, 1994; Vollmeyer & Burns, 2002) wird von Sweller so interpretiert, dass spezifische Problemlöseziele den Einsatz der kognitiv belastenden und nur zum Problemlösen geeigneten Problemlösestrategie der Mittel-Ziel-Analyse bewirken. Unspezifische Problemlöseziele hingegen bewirken, dass Personen ihre kognitive Kapazität in lernrelevante Aktivitäten investieren, statt in den Einsatz der Mittel-Ziel-Analyse.

Das *dritte Ziel* der experimentellen Studie ist der Versuch, den Zielspezifitätseffekt bei Problemlösezielen zu replizieren, was vor dem Hintergrund bisheriger Arbeiten erwartet wird (siehe Kapitel 3.2.1). In dieser Studie wird hauptsächlich der deklarativ-konzeptuelle Wissenszuwachs als Lernerfolg fokussiert, da dieser in bisherigen Arbeiten zum Zielspezifitätseffekt oft zugunsten von Problemlöseleistungen vernachlässigt wurde (vgl. z.B. Trumpower et al., 2004).

*Der Einfluss des Spezifitätsgrades von Problemlösezielen auf die Belastung des Arbeitsgedächtnisses.* Eine Person, die durch die Vorgabe eines spezifischen Problemlöseziels dazu aufgefordert wird, ein Problem zu lösen und somit zum Einsatz der Mittel-Ziel-Analyse tendiert, aber beispielsweise aufgrund ihrer Lernzielorientierung gleichzeitig lernen möchte, wird laut Sweller mit einer dual-task-Bedingung konfrontiert: Der *Problemlöseprozess* als primary task erlegt einen hohen *cognitive load* auf, so dass für den *Lernprozess* als secondary task weniger kognitive Kapazitäten übrig bleiben (Sweller, 1988, S. 277). Gemäß Sweller tritt die Tendenz zur Anwendung der Mittel-Ziel-Analyse bei unspezifischen Problemlösezielen hingegen nicht auf, so dass hier keine dual-task-Bedingung entsteht. Die dual-task-Bedingung, bei der, je nach Lernmotivation, laut Sweller Problemlöse- und Lernprozesse bewältigt werden müssen, sollte demgemäß auch einen signifikant höheren *cognitive load* erzeugen. Sweller hat den *cognitive load* jedoch nicht auf Probandenebene gemessen (weder subjektiv noch objektiv), sondern schlussfolgerte ihn auf der Basis einer Anforderungsanalyse seiner spezifischen und unspezifischen Problemlöseziele. Hierbei bezieht er sich in erster Linie auf die Anzahl



sogenannter Produktionen (*productions*; z.B. das Bestimmen einer Gleichung als Problemlöseoperator für eine einzelne Teillösung), von denen unter unspezifischen Problemlösezielen deutlich weniger im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden müssen als unter spezifischen Problemlösezielen (Sweller, 1988; ab S. 272). Diese Methode wird von Sweller (1988) als eine Möglichkeit zur Messung des *cognitive load* verstanden. Jedoch wird auf diese Weise ein unterschiedliches Vorwissensniveau Lernender nicht berücksichtigt, da ein und dieselbe Aufgabe bei Experten einen geringeren *intrinsic load* erzeugen wird als bei Novizen (vgl. Kapitel 3.4.2). Schätzen Probanden hingegen unmittelbar nach einer Aufgabenbearbeitung selbst ein, wie hoch das Ausmaß der kognitiven Anstrengung war, das sie in bestimmte Anforderungsarten der Aufgabe investieren mussten, geht das Vorwissensniveau automatisch in das Maß ein: Probanden mit hohem Vorwissen über den Inhaltsbereich einer Aufgabe werden diese als weniger kognitiv belastend einstufen als Probanden mit geringem Vorwissen.

Als *viertes Ziel* der experimentellen Studie wird deshalb überprüft, ob unspezifische Problemlöseziele neben einem höheren Lernerfolg auch einen geringeren - empirisch gemessenen - *cognitive load* bewirken.

*Der Einfluss des Spezifitätsgrades von Problemlösezielen auf die Strategienutzung.* Swellers Interpretation aus der *cognitive load*-Perspektive lässt die Frage offen, *warum* nur spezifische Problemlöseziele bei Lernenden die Tendenz zur kognitiv belastenden Nutzung der Problemlösestrategie Mittel-Ziel-Analyse, während unspezifische Problemlöseziele eher lernrelevante Aktivitäten hervorrufen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird angenommen, dass ein spezifisches Problemlöseziel aufgrund seines direkten und eng definierten Aufforderungscharakters, ein bestimmtes Problem zu lösen, Personen relativ stringent die Problemlösung anstreben lässt. Diese problemlöseorientierte Herangehensweise sollte eher die Nutzung von Problemlösestrategien als die von Lernstrategien auslösen (vgl. Sweller, 1988, 1994). Hingegen haben unspezifische Problemlöseziele einen offenen und übergreifenden Aufforderungscharakter und fordern einen weiter gefassten Gesamtzustand als Zielzustand. Dadurch stehen einer Person mehr Freiheitsgrade für selbstregulatorische Prozesse zur Verfügung. Nach Hacker (1999) ermöglicht erst eine ausreichende Anzahl von Freiheitsgraden das Setzen eigener Ziele. Dies stützt die im vorliegenden Zusammenhang gemachte Annahme, dass ein größerer Freiraum es Lernern ermöglicht, *ein external gesetztes Problemlöseziel durch ein internal gesetztes Lernziel zu ersetzen*. Mit in Lernprozessen erworbenem Aufgabenwissen kann zusätzlich das unspezifische Problemlöseziel erreicht werden. Somit sollten nicht Problemlöseprozesse, sondern in erster Linie Lernprozesse ausschlaggebend für den höheren Lernerfolg bei unspezifischen Problemlösezielen sein, verglichen mit spezifischen Problemlösezielen.

Zielspezifität ist hiernach nur indirekt relevant für das Lernen, da sowohl spezifische als auch unspezifische Problemlöseziele zum Problemlösen und nicht zum Lernen auffordern. Der geringe Spezifitätsgrad unspezifischer Problemlöseziele führt danach nicht selbst unmittelbar zum Lernen, sondern schafft durch den größeren Freiraum Bedingungen für eine lernzielorientierte Herangehensweise und somit auch für die Nutzung von Lernstrategien. Deshalb sollten unspezifische Problemlöseziele verglichen mit spezifischen Problemlösezielen neben einem höheren Lernerfolg und einem geringeren *cognitive load* ebenfalls eine häufigere Nutzung der beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen relevanten Lernstrategie der isolierenden Variablenkontrolle bewirken (Abschnitt 3.2.1.2; vgl. Vollmeyer et al., 1996). In den bisherigen Studien zu den Effekten der Zielspezifität wurden diese drei Konstrukte jedoch nicht gemeinsam berücksichtigt und der *cognitive load* nicht empirisch gemessen.

Daher intendiert die experimentelle Studie *fünftens* zu prüfen, ob unspezifische Problemlöseziele neben einem höheren Lernerfolg und einem geringeren *cognitive load* auch eine häufigere Strategienutzung bewirken als spezifische Problemlöseziele

*Der Einfluss des Spezifitätsgrades von Lernzielen auf den Lernerfolg, den cognitive load und die Strategienutzung.* Der nur lernerfolgsbezogene Zielspezifitätseffekt sollte bei Problemlösezielen beobachtbar sein, nicht aber bei Lernzielen. Sowohl spezifische als auch unspezifische Lernziele (vgl. Abschnitt 3.2.2.2) fordern explizit zum Lernen auf und sollten deshalb beide nicht die Anwendung der kognitiv belastenden *Problemlösestrategie* der Mittel-Ziel-Analyse auslösen. Somit sollten sie auch keine bedeutsamen Unterschiede bezogen auf den Lernerfolg, den *cognitive load* und die Häufigkeit der (Lern)Strategienutzung bewirken.

Demnach besteht das *sechste Ziel* der experimentellen Studie in dem Vergleich spezifischer mit unspezifischen Lernzielen hinsichtlich des Lernerfolgs, des *cognitive load* und der Häufigkeit der Strategienutzung.

*Der Einfluss internaler Zielorientierungen auf die Effekte externaler Zielvorgaben auf den Erfolg des selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren.* Das Ausmaß an inhaltlicher oder kontextueller Kongruenz external vorgegebener Ziele mit der motivationalen Struktur von Personen kann zum einen das Ausmaß beeinflussen, in dem die externalen Ziele übernommen werden (vgl. Cantor & Fleeson, 1994; Deci & Ryan, 2000; Oettingen & Gollwitzer, 2000) und zum anderen den resultierenden Lernerfolg (vgl. Vansteenkiste et al., 2004). In der vorliegenden Arbeit wird angenommen, dass Effekte externaler Zielvorgaben auf den Erfolg selbstreguliert-entdeckender Lernprozesse durch gegenläufige interne Zielorientierungen als stabile motivationale Personenmerkmale beeinträchtigt werden können. Eine Gegenläufigkeit liegt vor, wenn eine geringe interne Lernzielorientierung einem external gesetztem Lernziel beziehungsweise eine

hohe interne Lernzielorientierung einem external gesetzten Problemlöseziel gegenüber steht. Somit geht es in erster Linie um die Überprüfung des Einflusses des Ausmaßes an interner Lernzielorientierung auf die Effekte der Zielqualität (Lernziele vs. Problemlöseziele) auf den Lernerfolg. Offen ist zusätzlich, ob ein solcher möglicher Einfluss gegebenenfalls von der Spezifität externaler Zielvorgaben abhängt (spezifische vs. unspezifische Ziele): Es ist nicht auszuschließen, dass das Ausmaß an interner Lernzielorientierung nur bei unspezifischen externalen Zielvorgaben eine lernverstärkende beziehungsweise -abschwächende Wirkung hat. Beispielsweise werden unspezifische Problemlöseziele im Vergleich zu spezifischen Problemlösezielen mehr Raum zum Lernen lassen und somit eine größere Entfaltung von Lernprozessen ermöglichen, die durch das Ausmaß an interner Lernzielorientierung initiiert wurden. Über Problemlöse- und Lernziele hinweg sollte die interne Lernzielorientierung die Wirkung von Zielspezifität auf den Lernerfolg aber nicht bedeutsam beeinflussen, da die Spezifität nur bei Problemlösezielen eine lernerfolgsbezogene Rolle spielen sollte, nicht aber bei Lernzielen (siehe fünftes Ziel der experimentellen Studie).

Externale *Lernzielvorgaben* sollten an Lernförderlichkeit dazugewinnen/einbüßen, wenn ihnen eine hohe/geringe interne Lernzielorientierung gegenübersteht. Danach könnte die als geringer angenommene Lernförderlichkeit externaler *Problemlöseziele* durch eine hohe interne Lernzielorientierung verbessert werden. Allerdings wird davon ausgegangen, dass auch bei einer hohen internen Lernzielorientierung der *cognitive load* unter externalen Problemlösezielvorgaben nicht nur an Lernprozesse, sondern auch an Problemlöseprozesse gebunden ist. Somit sollten hoch lernzielorientierte Probanden mit externalen Problemlösezielen zwar tendenziell mehr lernen als gering lernzielorientierte Probanden unter dieser Bedingung, aber immer noch weniger lernen als gering lernzielorientierte Probanden mit externalen Lernzielen. Allerdings ist fraglich, ob dieser lernerfolgsbezogene Unterschied bedeutsam ist.

Das *siebte Ziel* der experimentellen Studie besteht darin zu untersuchen, inwieweit das Ausmaß an interner Lernzielorientierung das Ausmaß an Lernförderlichkeit externaler Zielvorgaben beeinflusst. Dabei wird im Wesentlichen geprüft, ob das Ausmaß an Lernzielorientierung die Effekte externaler Zielvorgaben auf den Lernerfolg moderiert.

## **5 Die korrelative Studie**

*Ausblick auf Kapitel 5.* Zunächst werden in Anlehnung an die in Kapitel 4.1 hergeleiteten Ziele und Annahmen die konkreten Fragestellungen und Hypothesen der korrelativen Studie in Kapitel 5.1 präzisiert.

Ein erstes Anliegen der korrelativen Studie ist die Evaluation der computerbasierten Experimentierumgebung (vgl. Kapitel 4.1). Dazu werden im Methodenteil zunächst ihr Aufbau und ihre Funktion beschrieben (Kapitel 5.2.1), um unter Kapitel 5.2.2 die

Stichprobe zu beschreiben. Auf die Entwicklung beziehungsweise auf die Auswahl der für die Korrelationsstudie notwendigen Instrumente wird unter Kapitel 5.2.3 eingegangen, wobei für die selbst entwickelten Instrumente die Gütekennwerte auch auf Itemebene angegeben werden. Das Vorgehen der Datenerhebung wird in Kapitel 5.2.4 beschrieben.

Kapitel 5.3 präsentiert die Ergebnisse der Korrelationsstudie, die sich in der Reihenfolge an die Darstellung der Fragestellungen und Hypothesen unter Kapitel 5.1 anlehnen. Anschließend werden in Kapitel 5.3.2 die Ergebnisse zur Prädiktionskraft der Strategienutzung unter Kontrolle weiterer lernerfolgsrelevanter Variablen und zur Rolle des Vorwissens als Moderator berichtet (in der Reihenfolge der im folgenden Kapitel formulierten Fragestellungen und Hypothesen). Kapitel 5.3.4 zeigt schulform- und geschlechtsspezifische Unterschiede und in Kapitel 5.4 werden die Befunde der korrelativen Studie in der Reihenfolge der Fragestellungen diskutiert.

## **5.1 Präzisierung der Fragestellungen und Hypothesen**

Zunächst wird der Frage nachgegangen, ob die entwickelte Experimentierumgebung das selbstreguliert-entdeckende Lernen durch Experimentieren ausreichend fördert. Zudem werden die entwickelten Instrumente zur Erfassung des deklarativ-konzeptuellen Wissens, der Wissensanwendung und der Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle auf ihre Konstruktvalidität hin geprüft.

*1. Ist die computerbasierte Experimentierumgebung ausreichend lernwirksam?*

*Hypothese 1a: Die Experimentierumgebung ermöglicht einen statistisch signifikanten Lernerfolg.*

*Hypothese 1b: Die Maße für den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb, die Wissensanwendung und die Strategienutzung hängen sowohl untereinander als auch mit der Intelligenz substantiell positiv zusammen.*

Zusätzlich wird geprüft, ob sich mit Hilfe der vorliegenden Experimentierumgebung überhaupt bedeutsame Effekte der Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle auf den Lernerfolg zeigen lassen. Dabei ist insbesondere von Interesse, ob die Strategienutzung neben Intelligenz, Motivation und metakognitivem Strategiewissen den Lernerfolg eigenständig vorhersagen kann.

*2. Erweist sich die Strategienutzung unter jeweiliger Kontrolle von Intelligenz, Motivation und metakognitivem Strategiewissen als eigenständiger Prädiktor für Lernerfolg beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren?*

*Hypothese 2: Unabhängig davon, ob die Intelligenz, die Motivation oder das metakognitive Strategiewissen kontrolliert werden, sagt die Strategienutzung den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs und die Wissensanwendungsleistung*

*substanziell vorher (siehe Kapitel 4.1; vgl. Artelt et al., 2001; Boekaerts, 1996; Chen & Klahr, 1999; Kröner et al., 2005; Künsting et al., im Druck).*

Schließlich ist die Rolle des Vorwissens als zwischen Strategienutzung und Lernerfolg vermittelnde Variable zu überprüfen, da vor dem Hintergrund bisheriger Arbeiten erwartet werden kann, dass ein hohes Vorwissen die Nutzbarkeit von Strategien entscheidend begünstigt (vgl. Kapitel 2.3.2).

*3. Beeinflusst das Ausmaß des Vorwissens die lernerfolgsbezogene Nutzbarkeit der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle?*

*Hypothese 3: Die Strategienutzung sollte bei hohem Vorwissen ein besserer Prädiktor für den Lernerfolg beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen sein als bei geringem Vorwissen (siehe Kapitel 4.1; Baumert & Köller, 1996; Klahr & Dunbar, 1988; Künsting et al., im Druck; Schraagen, 1993).*

## **5.2 Methode**

### **5.2.1 Aufbau und Funktion der Experimentierumgebung**

Um selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren bei Schülern der Sekundarstufe I. zu ermöglichen sowie reliabel und valide messen zu können, wurde eine computerbasierte Simulation zum physikalischen Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ entwickelt und evaluiert (Abbildung 6). Basierend auf dem *scientific discovery as dual search*-Ansatz von Klahr und Dunbar (1988) ermöglicht die Struktur dieser Experimentierumgebung das systematische und hypothesengeleitete Gewinnen neuer Informationen durch Experimentieren sowie das Bilden und Testen von Hypothesen. Demgemäß besteht die Experimentierumgebung aus einem „Labor“ (Experimenterraum) und einem „Notizblock“ (Hypothesenraum). Als komplexes (z.B. Funke, 2004) und dynamisches (z.B. Wirth, 2005) Verfahren in Form eines finiten Automaten (Buchner & Funke, 1993) mit insgesamt 360 möglichen verschiedenen Zuständen im Experimenterraum ermöglicht die Lernumgebung eine Interaktion zwischen Person und Aufgabe (vgl. Abschnitt 2.2.2.1). Der Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ ist zum einen Bestandteil im Lehrplan der Sekundarstufe I der drei Schulformen Hauptschule, Realschule und Gymnasium. Zum anderen wurden die fachliche und die didaktische Korrektheit aller Begriffe, Zusammenhänge und Darstellungsweisen in der Experimentierumgebung durch die Kooperation mit Experten der Physikdidaktik sowie unter Zuhilfenahme von Physikschulbüchern gesichert (Boysen et al., 1994; Bredthauer et al., 2002; Feuerlein et al., 1998; Mayer & Schmidt, 2005). Damit kann der Inhaltsbereich als curricular valide gelten. Die kontextuelle Einkleidung der Experimentierumgebung erfolgte unter Berücksichtigung des *anchored instruction*-Ansatzes (Bransford et al., 1990; siehe auch Kapitel 2.1). Dabei erklärt eine fiktive Figur

namens „Dr. Senkwürfel“, die Hilfe bei der Erledigung von Aufträgen in ihrem Labor zur Erforschung von Materialien für den Lastschiffbau benötigt, über direkte wörtliche Rede den Umgang mit dem Labor und dessen Modulen. Die Funktion und der Umgang mit dem Notizblock werden durch eine interaktive Übung mit Alltagsbeispielen eingeführt.

Das simulierte Labor als *Experimenterraum* (siehe Abbildung 6) umfasst ein „Regal“ mit zwölf sich im Masse-Volumen-Verhältnis unterscheidenden Körpern, die sich als Würfel, Rechteck oder Kreiszylinder wählen lassen, aber keine konkrete Materialbezeichnung besitzen. Unterhalb dieses Körperregals befinden sich zwei nebeneinanderstehende Gefäße, die beide die Wassertiefe in fünf Schritten (0, 10, 20, 30 und 40 cm) anzeigen, sich aber hinsichtlich der Flüssigkeitsdichte ihres Wassers unterscheiden. Per „drag-and-drop“-Funktion kann ein Körper aus dem Regal mit der Computermouse in einen der Tanks gezogen werden. Sobald sich ein Körper im Wasser befindet, werden insgesamt vier unterschiedliche auf ihn wirkende Kräfte angezeigt: Direkt im transparent dargestellten Körper wird die Größe der nach oben wirkenden Auftriebskraft ( $F_A$ ) als roter und die Größe der nach unten wirkenden Gewichtskraft ( $F_G$ ) als schwarzer Kraftpfeil angezeigt. An der Spitze eines jeweiligen Kraftpfeiles ist zusätzlich der numerische Betrag für die Größe einer Kraft sichtbar. Direkt am rechten Gefäßrand erscheinen die von oben auf den Körper wirkende Kraft  $F_o$  und die von unten auf den Körper wirkende Kraft  $F_u$  als blaue Kraftpfeile. Auch diese Kraftpfeile haben numerische Betragsanzeigen und entwickeln sich mit dem Sinken beziehungsweise Steigen eines Körpers im Wasser. Mit dem Anklicken einer Schaltfläche unterhalb der zwei Gefäße kann ein Körper jeweils in das Regal zurückbefördert werden.

Der grafische Notizblock als *Hypothesenraum* (siehe Abbildung 6) enthält in Form von miteinander verknüpfbaren Begriffsbezeichnungen *alle* im Experimenterraum vorfindbeziehungsweise explorierbaren Variablen. Generell sind in der Experimentierumgebung die Masse ( $m$ ), das Volumen ( $V$ ) und die Flüssigkeitsdichte ( $\rho_{FL}$ ) reine unabhängige Variablen, da sie nur aus einer bestehenden Auswahl in verschiedenen Ausprägungen gewählt werden können und sich nicht in Abhängigkeit von anderen Variablen verändern lassen. Das Gleiche gilt für die Form und die Eintauchtiefe eines Körpers in ein Gefäß, welche jedoch einflusslose Distraktoren sind. Hingegen können die Dichte ( $\rho_K$ ) eines Körpers, seine Auftriebskraft ( $F_A$ ), seine Gewichtskraft ( $F_G$ ) sowie die Kräfte  $F_o$  und  $F_u$  sowohl unabhängige als auch abhängige Variablen sein. Die drei möglichen Verhaltensweisen eines Körpers „Sinken“, „Schweben“ und „Steigen“ sind dagegen drei Stufen einer reinen abhängigen Variable. Hypothesen über Relationen zwischen diesen Variablen können im Notizblock grafisch fixiert werden. Dazu werden die Begriffe, welche die Variablen im Labor repräsentieren, durch einfache Beziehungssymbole miteinander zu Relationen verknüpft, beispielsweise für die Hypothese, dass ein Körper im Wasser steigt, wenn seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) größer ist als seine Gewichtskraft ( $F_G$ ).

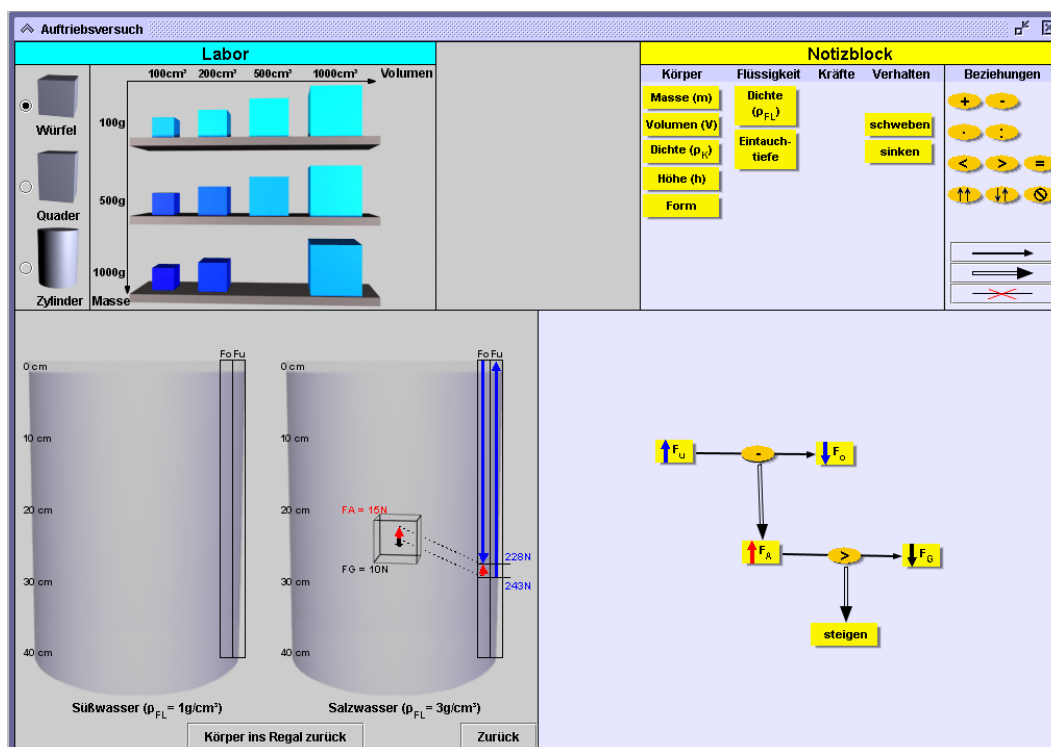


Abbildung 6: Screenshot der Experimentierumgebung aus der korrelativen Studie

## 5.2.2 Stichprobe

An der Evaluationssstudie nahmen 436 Schüler (48.1% männlich; 51.9% weiblich) der Klassen 8-10 der drei Schulformen Hauptschule (22.0%), Realschule (47.5%) und Gymnasium (30.5%) in Nordrhein-Westfalen mit einem Durchschnittsalter von  $M = 15.1$  ( $SD = 0.93$ ) Jahren teil. Es gingen nur Klassen ohne bisherigen Unterricht zum Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ aus insgesamt neun Schulen ein.

## 5.2.3 Instrumente

Die Instrumente zur Messung des deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachses und der Wissensanwendung als abhängige Variablen für den Lernerfolg wurden selbst entwickelt, da sie an den Inhaltsbereich und die Struktur der Experimentierumgebung zu adaptieren waren. Zusätzlich wurden die Kontrollvariablen Vorwissen, Intelligenz, metakognitives Strategiewissen, aktuelle Motivation und Interesse erhoben.

### 5.2.3.1 Entwickelte Instrumente

*Deklarativ-konzeptuelle Wissenstests.* Um das deklarativ-konzeptuelle Vorwissen zum Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ zu erfassen, wurde ein papier-bleistift-basierter multiple choice-Test mit 25 Items eines dreistufigen Antwortformats entwickelt („weiß nicht“, „richtig“, „falsch“; Prätest, siehe Anhang 1). Die Testitems repräsentieren alle in

der Experimentierumgebung explorierbaren sowie einige alltagswissenschaftliche Begriffe und Konzepte, die vorher genau analysiert wurden. Zusätzlich wurden typische Alltagsvorstellungen von Schülern über physikalische Konzepte zum Auftrieb in Flüssigkeiten aus physikdidaktischer Literatur herangezogen. Diese Analysen sowie die didaktische Aufbereitung der Itemformulierungen wurden mit Experten der Physikdidaktik abgeglichen. Aus dem Prätest wurde eine zweite Version zur Messung des *erworbenen deklarativ-konzeptuellen Wissens (Posttest)* entwickelt (siehe Anhang 2). Im Zuge der Reliabilitätsanalyse wurden aus dem Prätest fünf Items ausgeschlossen und aus dem Posttest sieben. Dabei verblieben 17 Ankeritems von insgesamt jeweils 25 Items, in denen die Versionen Prä- und Posttest übereinstimmten. Die Korrelation zwischen diesen Versionen beträgt  $r = .53$  ( $p < .001$ ; vgl. Tabelle 8, S. 93). Sowohl die skalierte Prä- als auch die Posttestversion besitzen akzeptable Reliabilitäten (Cronbachs  $\alpha = .75$  bzw.  $\alpha = .71$ ) und angemessene Schwierigkeiten ( $M = .46$ ,  $SD = .19$  bzw.  $M = .50$ ,  $SD = .20$ ; vgl. Tabelle 7, S. 90). Die Itemkennwerte der beiden Testversionen finden sich in den Tabellen 4 und 5, wobei die Mittelwerte überwiegend mittelschwere bis schwere Items anzeigen. Die Trennschärfen beider Versionen sind akzeptabel.

**Tabelle 4:** Itemkennwerte für die 20 Items der reliablen Prätestversion

| Item      | <i>M</i> | <i>SD</i> | Korrigierte<br>Trennschärfe | Itemnummer<br>im Test |
|-----------|----------|-----------|-----------------------------|-----------------------|
| WT Prä 1  | .33      | .47       | .29                         | 2 A                   |
| WT Prä 2  | .83      | .37       | .22                         | 4                     |
| WT Prä 3  | .43      | .50       | .32                         | 6 A                   |
| WT Prä 4  | .48      | .50       | .34                         | 7                     |
| WT Prä 5  | .57      | .50       | .29                         | 8 A                   |
| WT Prä 6  | .32      | .47       | .34                         | 9 A                   |
| WT Prä 7  | .54      | .50       | .27                         | 10 A                  |
| WT Prä 8  | .37      | .48       | .45                         | 11 A                  |
| WT Prä 9  | .70      | .46       | .35                         | 12                    |
| WT Prä 10 | .28      | .45       | .34                         | 13 A                  |
| WT Prä 11 | .51      | .50       | .32                         | 14 A                  |
| WT Prä 12 | .63      | .48       | .25                         | 15 A                  |
| WT Prä 13 | .62      | .49       | .32                         | 16 A                  |
| WT Prä 14 | .45      | .50       | .40                         | 17 A                  |
| WT Prä 15 | .38      | .49       | .28                         | 18                    |
| WT Prä 16 | .60      | .49       | .34                         | 19 A                  |
| WT Prä 17 | .46      | .50       | .33                         | 21 A                  |
| WT Prä 18 | .25      | .43       | .28                         | 22 A                  |
| WT Prä 19 | .36      | .48       | .22                         | 24                    |
| WT Prä 20 | .30      | .46       | .29                         | 25                    |

*Anmerkungen:* WT = Wissenstest (Prätest); A = Ankeritem; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung.



**Tabelle 5:** Itemkennwerte für die 18 Items der reliablen Posttestversion

| Item       | <i>M</i> | <i>SD</i> | Korrigierte<br>Trennschärfe | Itemnummer<br>im Test |
|------------|----------|-----------|-----------------------------|-----------------------|
| WT Post 1  | .54      | .50       | .32                         | 2 A                   |
| WT Post 2  | .47      | .50       | .42                         | 3 A                   |
| WT Post 3  | .72      | .45       | .35                         | 4 A                   |
| WT Post 4  | .64      | .48       | .24                         | 5 A                   |
| WT Post 5  | .50      | .50       | .20                         | 6 A                   |
| WT Post 6  | .40      | .49       | .19                         | 8                     |
| WT Post 7  | .60      | .49       | .37                         | 9 A                   |
| WT Post 8  | .55      | .50       | .38                         | 10 A                  |
| WT Post 9  | .31      | .46       | .37                         | 11 A                  |
| WT Post 10 | .22      | .42       | .20                         | 12                    |
| WT Post 11 | .58      | .49       | .21                         | 13 A                  |
| WT Post 12 | .61      | .49       | .38                         | 14 A                  |
| WT Post 13 | .44      | .50       | .27                         | 16 A                  |
| WT Post 14 | .73      | .45       | .21                         | 17 A                  |
| WT Post 15 | .54      | .50       | .30                         | 20                    |
| WT Post 16 | .53      | .50       | .31                         | 21 A                  |
| WT Post 17 | .50      | .50       | .28                         | 22 A                  |
| WT Post 18 | .27      | .44       | .26                         | 24                    |

Anmerkungen: WT = Wissenstest (Posttest); A = Ankeritem; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung.

**Wissensanwendungstest.** Der computerbasierte Wissensanwendungstest (siehe Abbildung 7) wurde entwickelt, um die Fähigkeit zu überprüfen, das in der Experimentierumgebung erworbene Wissen auf 15 Problemlöseaufgaben (Anhang 12) anzuwenden. Der Wissensanwendungstest besteht aus einem Labor, das dem aus der Experimentierphase strukturell und funktional ähnelt. Es unterscheidet sich aber von dem Labor der Experimentierphase erstens dadurch, dass die auswählbaren Körper nun aus konkreten Materialien bestehen (Blei, Hartgummi und Styropor) und andere Masse-Volumen-Verhältnisse besitzen. Zweitens gibt es nur noch *ein* Gefäß mit nun zehn verschiedene Eintauchtiefen (0-100 cm). Drittens befinden sich in dem neuen Labor zwei neue Module: Eine „Heftmaschine“, mit der sich bis zu drei Körper kombinieren lassen und ein „Dichtescanner“, mit dem sich die Dichte einzelner Körper beziehungsweise die mittlere Dichte von Körperkombinationen anzeigen lässt. Die ersten fünf von „Dr. Senkwürfel“ gestellten Problemlöseaufgaben fungierten als „Eisbrecher“ und beinhalteten einfache Handlungsaufforderungen zur Bedienung der neuen Labor-Module. Sie wurden daher nicht in die Skala aufgenommen. Die restlichen zehn Problemlöseaufgaben verlangten die Anwendung respektive den Transfer erworbenen Wissens (z.B. vom Konzept der Dichte zu dem der mittleren Dichte). Der Test besitzt eine akzeptable Reliabilität (Cronbachs  $\alpha = .81$ ), ist angemessen schwierig ( $M = .47$ ,  $SD = .28$ ; vgl. Tabelle 7, S. 90) und hat zufrieden stellende Itemkennwerte (Tabelle 6, S. 88).

Tabelle 6: Itemkennwerte für den Wissensanwendungstest (korrelative Studie)

| Item   | <i>M</i> | <i>SD</i> | Korrigierte<br>Trennschärfe | Itemnummer<br>im Test |
|--------|----------|-----------|-----------------------------|-----------------------|
| WAT 1  | .76      | .43       | .41                         | 6                     |
| WAT 2  | .67      | .47       | .51                         | 7                     |
| WAT 3  | .79      | .41       | .34                         | 8                     |
| WAT 4  | .35      | .48       | .54                         | 9                     |
| WAT 5  | .28      | .45       | .42                         | 10                    |
| WAT 6  | .57      | .50       | .66                         | 11                    |
| WAT 7  | .50      | .50       | .62                         | 12                    |
| WAT 8  | .15      | .36       | .33                         | 13                    |
| WAT 9  | .33      | .47       | .49                         | 14                    |
| WAT 10 | .32      | .47       | .54                         | 15                    |

Anmerkungen: WAT = Wissensanwendungstest; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung.

*Strategienutzung.* Jegliche Lerneraktivitäten in der Experimentierumgebung wurden prozessbasiert in ein Logfile (Protokolldatei) geschrieben (vgl. Jamieson-Noel & Winne, 2003; Wirth, 2004). Diese verhaltensbasiert aufgezeichneten Daten wurden dahingehend analysiert, mit welcher relativen Häufigkeit die IVK-*between*-Strategie eingesetzt wurde.

*Operationalisierung der Strategienutzung.* Die IVK-*between*-Strategie galt als genutzt, wenn zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Experimenten (einem „Experimentepaar“) alle bis auf eine unabhängige Variable in ihren Ausprägungen konstant gehalten wurden. Als ein Experiment wurde genau eine Beobachtung gewertet: Wenn ein bestimmter Körper im Experimenterraum aus dem Regal in eines der zwei Gefäße und wieder zurück in das Regal befördert wurde, galt ein Experiment als abgeschlossen. Der Skalenwert einer Person für die Anwendung von IVK-*between* war als Anteil der gemäß IVK-*between* durchgeführten Experimentepaare an allen durchgeführten Experimenten definiert. Um die Reliabilität des Maßes für die IVK-*between*-Strategie einschätzen zu können, wurden alle von einem Schüler durchgeführten Experimente im Sinne eines Abzählreims (A,B,C,A,B,C,A,...) in drei Pakete A, B und C aufgeteilt, für die dann jeweils der Anteil an IVK-*between*-Experimentepaaren berechnet wurde. So entstanden drei zeitunabhängige Messungen des IVK-*between*-Anteils, auf deren Basis die Reliabilität im Sinne interner Konsistenz bestimmt werden konnte (Cronbachs  $\alpha = .80$ ; vgl. Tabelle 7, S. 90).

Die mittlere Nutzungshäufigkeit der IVK-*between*-Strategie innerhalb der 20-minütigen Explorationsphase fiel eher gering aus ( $M = .32$ ,  $SD = .18$ ). Dabei führten die Probanden im Schnitt  $M = 45.04$  Experimente durch ( $SD = 28.03$ ). Bei durchschnittlich  $M = 16.74$  Experimentepaaren ( $SD = 16.94$ ) wurde die IVK-*between*-Strategie eingesetzt.

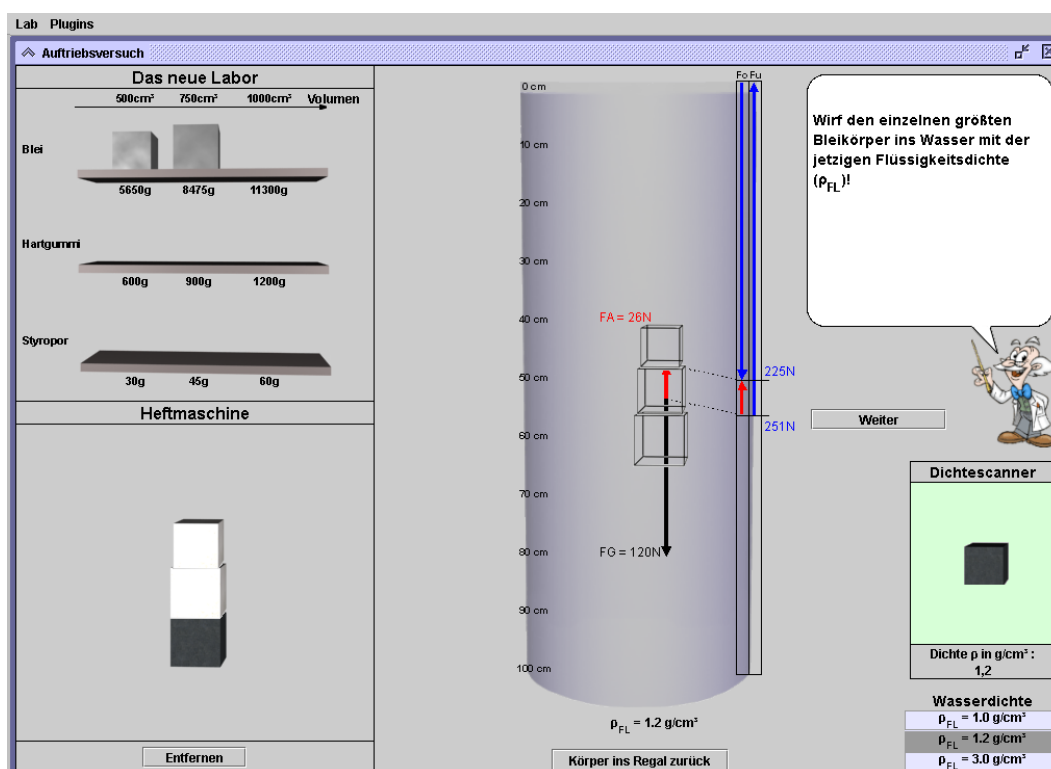


Abbildung 7: Screenshot des Wissensanwendungstests aus der korrelativen Studie

### 5.2.3.2 Zusätzlich eingesetzte Instrumente

**Intelligenz.** Kognitive Fähigkeiten wurden als Kontrollvariable durch die Skala „Figurale Analogien“ aus dem Kognitive Fähigkeiten-Test (KFT; Heller, Gaedicke & Weinländer, 1985) erhoben ( $M = .60$ ,  $SD = .21$ , Cronbachs  $\alpha = .84$ ; vgl. Tabelle 7, S. 90). Analogieaufgaben zählen zu den klassischen Itemformen zur Erfassung induktiver Denkprozesse (vgl. Klauer, 2001; Pellegrino & Glaser, 1980), die wiederum als zentrale Komponente der Intelligenz (z.B. Klauer, 2001; Undheim & Gustafsson, 1987) und des selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren (vgl. Holland et al., 1986) gelten. Auch laden die Subskalen „Figurale Analogien“ am höchsten auf dem g-Faktor der allgemeinen Intelligenz (Heller & Perleth, 2000). Eine weitere Skala des KFT wurde aus testökonomischen Gründen nicht verwendet. Zudem sind die Anforderungen der vorliegenden Experimentierumgebung zu einem Großteil ohnehin visuell-räumlicher Art.

**Aktuelle Motivation.** Ein papier-bleistift-basierter Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM) in Anlehnung an Rheinberg et al. (2001) diente zur Erfassung des motivationalen Zustands. Die für die vorliegende Erhebung zusammengestellte Skala (Anhang 9) ist reliabel (Cronbachs  $\alpha = .87$ ) und weist eine moderate Ausprägung der aktuellen Motivation für die untersuchten Probanden aus ( $M = .45$ ,  $SD = .21$ ; vgl. Tabelle 7, S. 90).

**Interesse.** Zusätzlich zur aktuellen Motivation wurde das Interesse am Unterrichtsfach Physik (Anhang 11) angelehnt an Baumert, Roeder, Sang und Schmitz

(1986) papier-bleistift-basiert gemessen (Cronbachs  $\alpha = .91$ ,  $M = .46$ ,  $SD = .26$ ; vgl. Tabelle 7).

*Metakognitives Strategiewissen.* Um den Einfluss der Strategienutzung auf den Lernerfolg zu kontrollieren, wurde ein papier-bleistift-basierter Test zum metakognitiven Strategiewissen (vgl. Paris et al., 1983) im Bereich Experimentieren (Thillmann et al., 2006; in Anlehnung an Schlagmüller & Schneider, 1999) eingesetzt (Anhang 10; Cronbachs  $\alpha = .76$ ,  $M = .59$ ,  $SD = .18$ ; vgl. Tabelle 7). In dem Test sollen unterschiedlich strategische Handlungsalternativen für spezifische experimentell zu bearbeitende Aufgabenstellungen (z.B. „Du hast die Aufgabe herauszufinden, ob sich die Raumtemperatur verändert, wenn die Kühlschranktür offen stehen bleibt.“) anhand von Schulnoten beurteilt werden.

**Tabelle 7:** Deskriptive Statistiken und Reliabilitäten (N = 436, korrelative Studie)

|  | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>SE</i> | Cronbachs $\alpha$ | Anzahl Items |
|--|----------|-----------|-----------|--------------------|--------------|
| Deklarativ-konzeptuelles Wissen (Prätest)  | .46      | .19       | .01       | .75                | 25           |
| Deklarativ-konzeptuelles Wissen (Posttest) | .50      | .20       | .01       | .71                | 25           |
| Wissensanwendung                           | .47      | .28       | .02       | .81                | 15           |
| Strategienutzung                           | .32      | .18       | .01       | .80                | 3*           |
| Intelligenz (KFT)                          | .60      | .21       | .01       | .84                | 25           |
| Metakognitives Strategiewissen             | .59      | .18       | .01       | .76                | 30           |
| Interesse                                  | .46      | .26       | .01       | .91                | 6            |
| Aktuelle Motivation (FAM)                  | .45      | .21       | .01       | .87                | 9            |

*Anmerkungen:* Die Werte dieser Tabelle wurden normiert auf den Wertebereich zwischen 0 und 1. *M* = Mittelwert, *SD* = Standardabweichung, *SE* = Standardfehler. \*Die Pakete der zeitunabhängigen Messungen.

## 5.2.4 Vorgehen

*Organisatorisches.* Alle teilnehmenden Schulen wurden vor den Datenerhebungen schriftlich und mündlich über Ziele und Durchführungsbedingungen der Studie ausführlich informiert. Die Untersuchungen fanden nach Absprache der zeitlichen und räumlichen Organisation in den jeweiligen Computerräumen der Schulen statt. Zunächst mussten die Computer - aufgrund ihrer Sicherheitssoftware - für die Funktionstüchtigkeit der computerbasierten Experimentierumgebung eingerichtet werden. Um Einzelarbeit am Computer zu gewährleisten, wurden zu kleine Rechnerbestände der Schulen mit von Medienzentren geliehenen Laptops aufgestockt.

Die Untersuchung fand an zwei Testtagen statt (siehe Abbildung 8). Am ersten Testtag bearbeiteten die Schüler zunächst den 15-minütigen Test zum *metakognitiven Strategiewissen* im Bereich Experimentieren (Thillmann et al., 2006). Anschließend kam der etwa 25-minütige computerbasierte „Heidelberger Finite Automat“ (Funke, Töpfer & Wagener, 1998; vgl. Klieme et al., 2005) zur Untersuchung von für die vorliegende Arbeit nicht relevanten Fragestellungen zum Einsatz. Danach wurde die *Intelligenz* als

Kontrollvariable durch die Skala „Figurale Analogien“ aus dem achtminütigen Kognitive Fähigkeiten-Test (KFT; Heller et al., 1985) erhoben. Nach fünfminütiger Pause kam der Prätest zum *deklarativ-konzeptuellen Vorwissen* über den Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ zum Einsatz (siehe Abschnitt 5.2.3.1).

Hieran schlossen sich die Erhebung *demografischer Daten*, des *Interesses am Unterrichtsfach Physik* (ca. fünf Minuten; Baumert et al., 1986) und des metakognitiven Strategiewissens zum Umgang mit Texten an (ca. 15 Minuten; Schlagmüller & Schneider, 1999), wobei letzteres nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist.

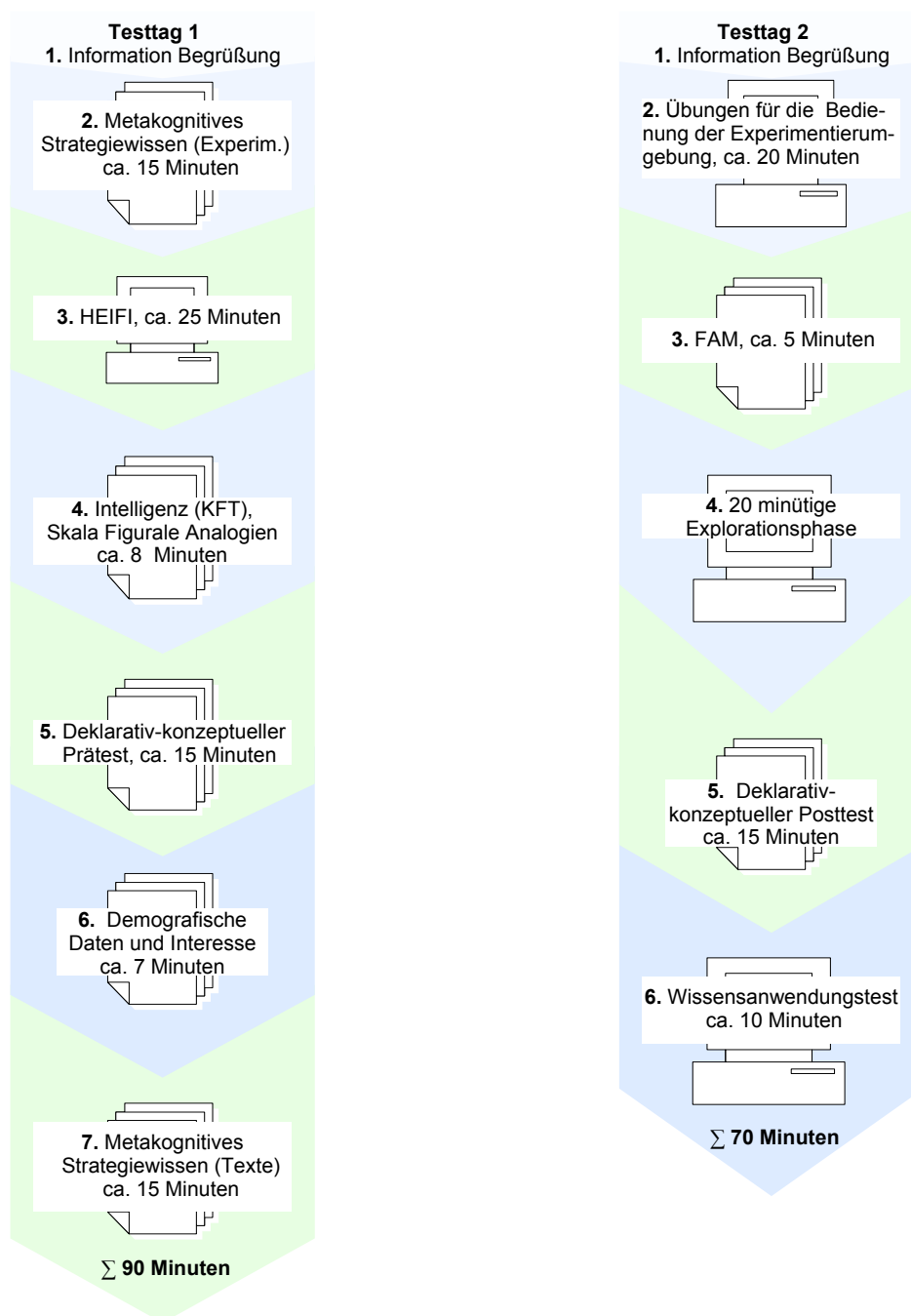


Abbildung 8: Skizze für den Ablauf der Datenerhebung an den zwei Testtagen

Am zweiten Testtag begannen die Schüler mit einem 20-minütigen computerbasierten Trainingsprogramm für den Umgang mit der Experimentierumgebung (vgl. Kapitel 5.2.1). Nach diesem Training (siehe Kapitel 6.2.4) füllten die Schüler den ca. zweiminütigen papier-bleistift-basierten *Fragebogen zur aktuellen Motivation* aus (FAM; Rheinberg et al., 2001), bevor sie mit der 20-minütigen computerbasierten Explorationsphase begannen. Für diese Explorationsphase bekamen alle Probanden von der fiktiven Figur „Dr. Senkwürfel“ (vgl. Kapitel 5.2.1) ein unspezifisches Lernziel gesetzt: „Finde so viel wie möglich über das Sinken, Schweben und Steigen von Körpern im Wasser heraus und berichte mir anschließend!“. Im Anschluss an diese Explorationsphase bearbeiteten die Schüler zur Erfassung des *erworbenen deklarativ-konzeptuellen Wissens* über den Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ den etwa 15-minütigen Posttest (Anhang 2; vgl. Abschnitt 5.2.3.1). Zum Schluss gelangten die Schüler automatisch zu dem etwa zehnminütigen computerbasierten *Wissensanwendungstest* (vgl. Abschnitt 5.2.3.1).

Innerhalb der 20-minütigen Explorationsphase wurde die Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle (IVK) des Typs IVK-*between* (Abschnitt 2.2.2.2) als eine zentrale Strategie des selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren prozessbasiert erfasst. Die Nutzung des Typs IVK-*within* ist in der vorliegenden Experimentierumgebung weder intendiert noch möglich (das Volumen (V) oder die Masse (m) eines Körpers lassen sich z.B. nicht in ihrer Ausprägung eliminieren).

### 5.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der korrelativen Studie werden in Kapitel 5.3.2 in der Reihenfolge der Hypothesen berichtet. Sowohl in der korrelativen als auch in der experimentellen Studie wurden alle numerischen Kennwerte auf zwei Dezimalstellen gerundet. Eine Ausnahme bilden die Signifikanzniveaus, die zugunsten der Genauigkeit dreistellig angegeben werden (z.B.  $p = .026$  oder  $p < .001$ ). Nur Signifikanzniveaus ab  $p < .05$  werden als statistisch bedeutsam betrachtet.

#### 5.3.1 Evaluation der Experimentierumgebung

*Hypothese 1a: Die Experimentierumgebung ermöglicht einen statistisch signifikanten Lernerfolg.* Die entwickelte Experimentierumgebung ist ausreichend lernwirksam, um Bedingungen des selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren untersuchen zu können. Der Mittelwert des Posttests ist zwar nur geringfügig höher als der des Prätests (Tabelle 7), was jedoch nicht als geringer Zugewinn an Wissen im Zuge der Explorationsphase zu deuten ist, da es sich um zwei Tests handelt, die neben den Ankeritems noch weitere Items umfassten, die in der jeweils anderen Testversion nicht enthalten waren. Werden nur die Ankeritems als Skalen verglichen, zeigt die

Gesamtstichprobe einen statistisch signifikanten Zugewinn an Wissen als einfache Punktwert-Differenz zwischen Post- und Prätest ( $\Delta = 1.35$ ,  $t_{(405)} = 8.59$ ,  $p < .001$ ,  $d = .43$ ). Werden aus der Gesamtstichprobe per Mediansplit Probanden mit hohem deklarativ-konzeptuellen Vorwissen mit jenen eines geringen deklarativ-konzeptuellen Vorwissens verglichen, zeigt sich für erstgenannte kein bedeutsamer Zugewinn an Wissen ( $N = 222$ ,  $\Delta = .01$ ,  $t_{(221)} = 1.01$ ,  $p = .301$ ), während Probanden mit geringem Vorwissen mit hoher praktischer Bedeutsamkeit dazulernten ( $N = 184$ ,  $\Delta = .18$ ,  $t_{(183)} = 12.19$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.15$ ).

*Hypothese 1b: Die Maße für den deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerb, die Wissensanwendung und die Strategienutzung hängen sowohl untereinander als auch mit der Intelligenz substantiell positiv zusammen.* Die Korrelationen (Pearson) aus Tabelle 8 liefern erste Hinweise auf die Konstruktvalidität der entwickelten Instrumente: Beispielsweise korrelieren die IVK-between-Strategienutzung sowie die Leistung im Wissensanwendungstest und im deklarativ-konzeptuellen Posttest bedeutsam mit der Intelligenz ( $r = .29$ ,  $r = .45$ ,  $r = .39$ ;  $p < .001$ ). Schüler, die im deklarativ-konzeptuellen Posttest gut abschnitten, zeigen auch im Wissensanwendungstest gute Leistungen ( $r = .45$ ,  $p < .001$ ). Die Variable „Wissenszuwachs“ in Tabelle 8 wurde als das Residuum des deklarativ-konzeptuellen Posttests aus Einfachregressionen mit deklarativ-konzeptuellem Vorwissen als Prädiktor im Sinne eines residualen Lerngewinns berechnet. In der gesamten vorliegenden Arbeit ist immer dieser vorwissensbereinigte deklarativ-konzeptuelle Wissenszuwachs gemeint, wenn von Wissenszuwachs die Rede ist. Ist die einfache, nicht vorwissensbereinigte Prä-Posttestdifferenz gemeint, so wird dies kenntlich gemacht. Der Wissenszuwachs korreliert zwar gering, aber ebenfalls statistisch signifikant mit der Leistung im Wissensanwendungstest, mit der Strategienutzung und mit der Intelligenz ( $r = .25$ ,  $r = .24$ ,  $r = .25$ ;  $p < .001$ ).

**Tabelle 8:** Interkorrelationen aller Variablen der korrelativen Studie (N = 436)

|                              | 1.               | 2.    | 3.    | 4.    | 5.    | 6.    | 7.    | 8.    |
|------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. D.-k. Wissen (Prätest)    |                  |       |       |       |       |       |       |       |
| 2. D.-k. Wissen (Posttest)   | .53**            |       |       |       |       |       |       |       |
| 3. Wissenszuwachs            | .00 <sup>1</sup> | .85** |       |       |       |       |       |       |
| 4. Wissensanwendung          | .42**            | .45** | .25** |       |       |       |       |       |
| 5. IVK-between-Nutzung       | .23**            | .31** | .24** | .38** |       |       |       |       |
| 6. Intelligenz (KFT)         | .35**            | .39** | .25** | .45** | .29** |       |       |       |
| 7. Metakogn. Strategiewissen | .23**            | .27** | .18** | .31** | .17** | .28** |       |       |
| 8. Interesse                 | .17**            | .18** | .11*  | .05   | .03   | .03   | .04   |       |
| 9. Motivation (FAM)          | .14**            | .22** | .17** | .17** | .17** | .12*  | .21** | .21** |

\* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$ ; *Anmerkungen:* D.-k. Wissen = Deklarativ-konzeptuelles Wissen; <sup>1</sup>Der Wissenszuwachs ist der residuale Lerngewinn, in dem keine Varianz des Vorwissens mehr enthalten ist.

### 5.3.2 Strategienutzung als Prädiktor für Lernerfolg

*Hypothese 2: Unabhängig davon, ob die Intelligenz, die Motivation oder das metakognitive Strategiewissen kontrolliert werden, sagt die Strategienutzung den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs und die Wissensanwendungsleistung substantiell vorher (vgl. Kapitel 5.1).*

Die Rolle der Strategienutzung als Prädiktor für den Lernerfolg wurde mit Hilfe von Strukturgleichungsmodellen geprüft, welche zum einen die gleichzeitige Betrachtung mehrerer unabhängiger und mehrerer abhängiger Variablen innerhalb *eines* Modells erlauben (z.B. Arbuckle & Wothke, 1999). Zum anderen erlauben *Strukturmodelle* die Modellierung von Beziehungen zwischen latenten Variablen (z.B. Bollen, 1989; Jöreskog & Sörbom, 1989a). Den latenten Variablen (Konstrukte) werden manifeste Variablen (Indikatoren) zugewiesen; die Messrelationen zwischen latenten Variablen und ihren manifesten Indikatoren stellen das *Messmodell* dar. Ein weiterer Grund für die Verwendung von Strukturgleichungsmodellen war, dass sie simultane Gruppenanalysen ermöglichen, welche zur Beantwortung der dritten Fragestellung dienen.

Bei der Analyse von Strukturgleichungsmodellen wird die aus theoretischen Modellannahmen abgeleitete Struktur korrelativer Zusammenhänge mit der empirischen Zusammenhangsstruktur der Daten verglichen. Die Güte einer solchen Anpassung eines Modells an die empirischen Daten kann nach einer ganzen Reihe von globalen Fitindices eingeschätzt werden. Laut der Empfehlung unterschiedlicher Autoren (z.B. Marsh, Balla & Hau, 1996) eignen sich der  $\chi^2$ -Wert, der *Tucker-Lewis-Index* (*TLI*; Bollen, 1989b; Tucker & Lewis, 1973) und der *root mean square error of approximation* (*RMSEA*; Browne & Cudeck, 1993). Dabei warten der *TLI* und der *RMSEA* gegenüber dem  $\chi^2$ -Wert mit geringerer Stichprobenabhängigkeit und einer kompensatorischen Bestrafung zunehmender Modellkomplexität auf. In der vorliegenden Arbeit soll zusätzlich der *comparative fit index* (*CFI*, Bentler, 1990) berücksichtigt werden, der die Diskrepanz zwischen sehr schlechter und sehr guter Modellanpassung an die empirischen Daten widerspiegelt. Eine zufriedenstellende Modellgüte liegt vor bei einem nicht signifikanten  $\chi^2$ -Wert (bzw. bei  $\chi^2/df \leq 2.50$ ; Homburg & Baumgartner, 1995), einem *TLI* über .90, einem *RMSEA* von unter .08 und einem *CFI* von über .90 (Byrne, 2001; Hair et al. 1998).

Aufgrund unvermeidbarer technischer Probleme während der Datenerhebung liegen nicht für alle Probanden vollständige Logfiles (S. 88) vor. Dadurch fehlen für ein Teil der Probanden beispielsweise die computerbasierten Maße für die Strategienutzung und die Wissensanwendung. In allen Strukturanalysen wurden ausschließlich Personen mit vollständigen Datensätzen ohne fehlende Werte einbezogen. Diese Teilstichprobe enthielt 286 Schüler (50.7% männlich, 49.3% weiblich; Hauptschule = 20.6%, Realschule = 49.3%, Gymnasium = 30.1%; Durchschnittsalter  $M = 15.1$  Jahre,  $SD = .91$ ).



Weitere Variablen wurden *jeweils* in ein Strukturgleichungsmodell einbezogen, da die Stichprobe der vorliegenden Studie für den gleichzeitigen Einbezug aller Variablen in ein Modell nicht groß genug ist (insbesondere mit Blick auf die zu bildenden Subgruppen für die Moderatoranalyse in Kapitel 5.3.3). In der Literatur zur Parameterschätzung in Strukturgleichungsmodellen wird ein Stichprobenumfang von minimal  $N \geq 100$ , besser  $N \geq 200$  generell vorausgesetzt, jedoch wächst der erforderliche Stichprobenumfang mit der Anzahl der zu schätzenden Parameter. Empfohlen wird beispielsweise ein Umfang von mindestens  $N \geq 5 \times q$ ; als zuverlässiger gilt  $N \geq 10 \times q$ , wobei  $q$  die Anzahl zu schätzender Parameter ist (Bentler, 1985; Bentler & Wu, 1995; Loehlin, 1987). Insbesondere für die Durchführung inferenzstatistischer Verfahren (z.B.  $\chi^2$ -basierte Tests) wird ein noch größerer Stichprobenumfang nahegelegt:  $N \geq 1,5 \times p(p+1)$ , wobei  $p$  die Anzahl manifester Variablen eines Modells ist (Jöreskog & Sörbom, 1989a, 1993).

*Parcelbildung für die Messmodelle.* Da die Itemanzahl für die latenten Variablen zu hoch war für eine akzeptable Modellkomplexität, wurden sie durch parcels repräsentiert. Die hinsichtlich der Itemanzahl gleich großen parcels wurden jeweils so gebildet, dass sie sich in Mittelwerten und Standardabweichungen der Items so weit wie möglich gleichen. Dabei resultierten für die Intelligenz, für die aktuelle Motivation und für das metakognitive Strategiewissen als exogene latente Variablen jeweils zwei parcels. Als parcels für die exogene latente Variable der Strategienutzung wurden die drei zeitunabhängigen Messungen des IVK-*between*-Anteils verwendet (siehe S. 88). Für die endogene latente Variable Wissenszuwachs wurde wie folgt verfahren: Zunächst wurden für den Prätest zur Erfassung des deklarativ-konzeptuellen Vorwissens zwei gleich große parcels gebildet, die sich in den Mittelwerten und Standardabweichungen der Items so weit wie möglich gleichen. Dasselbe wurde für den Posttest zur Erfassung des erworbenen deklarativ-konzeptuellen Wissens gemacht. Dann wurden die Residuen für die zwei parcels des deklarativ-konzeptuellen Posttests jeweils aus Einfachregressionen mit den zwei parcels des deklarativ-konzeptuellen Prätests als jeweiligen Prädiktor im Sinne eines residualen Lerngewinns pro parcel berechnet (vgl. auch Kapitel 5.3.1). Für die endogene latente Variable der Wissensanwendung wurde nach dem gleichen Muster verfahren, wie für den Wissenszuwachs, so dass auch die zwei parcels für die Leistung im Wissensanwendungstest jeweils um den Einfluss des deklarativ-konzeptuellen Vorwissens bereinigt wurden (siehe Anhang 3 für eine vollständige Darstellung von Mess- und Strukturmodell am Beispiel des Modells unter Einbezug der Intelligenz).

In einer ersten Analyse wurde zunächst nur die Strategienutzung als unabhängige Variable einbezogen. In diesem Modell (Abbildung 9a) sagt die Strategienutzung sowohl den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs ( $\beta = .37, p < .001$ ) als auch die (für die Strukturanalysen ebenfalls vorwissensbereinigte) Leistung im Wissensanwendungstest

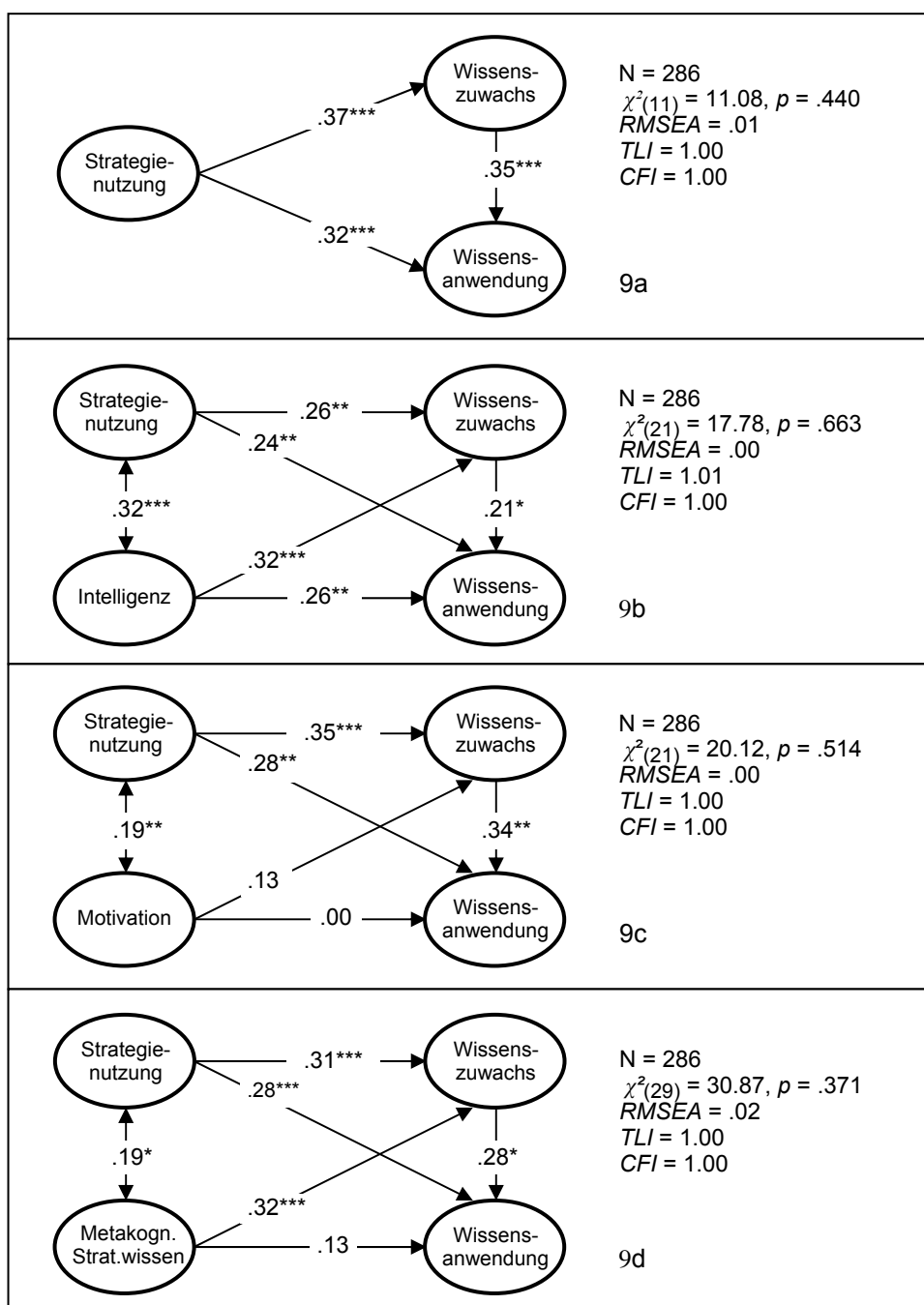
( $\beta = .32$ ,  $p < .001$ ) bedeutsam vorher. Das Modell weist eine gute Anpassung an die empirischen Daten auf ( $\chi^2_{(11)} = 11.08$ ,  $p = .440$ ;  $TLI = 1.00$ ;  $RMSEA = .01$ ;  $CFI = 1.00$ ).

In den Strukturmodellen aus Abbildung 9b bis 9c wurde die Strategienutzung vereinheitlichend als exogene Variable definiert, so dass statt jeweils gerichteter Pfade von den Kontrollvariablen auf die Strategieinutzung, jeweils latente Korrelationen zwischen Kontrollvariablen und Strategienutzung zugelassen wurden. Zwar ist beispielsweise die Annahme plausibel, dass Intelligenz die Strategienutzung eher beeinflusst als umgekehrt. Jedoch ist die jeweilige Prädiktion der Strategienutzung durch die Kontrollvariablen nicht Bestandteil der vorliegenden Fragestellung.

*Einbezug der Intelligenz.* Auch unter Einbezug der Intelligenz in das Modell (Abbildung 9b) fällt die Prädiktion des deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachses und der Leistung im Wissensanwendungstest durch die Strategienutzung erwartungskonform signifikant aus ( $\beta = .26$ ,  $\beta = .24$ ,  $p = .002$ ), was die Annahme eines eigenständigen Beitrags der Strategienutzung zur Vorhersage des Lernerfolgs zusätzlich zur Intelligenz bestätigt. Neben der latenten Korrelation der Strategienutzung mit Intelligenz ( $r = .32$ ,  $p < .001$ ) sind auch die Pfade von der Intelligenz auf die zwei Variablen des Lernerfolgs mit vergleichbaren Beträgen statistisch bedeutsam (Wissenszuwachs:  $\beta = .32$ ,  $p < .001$ ; Wissensanwendung:  $\beta = .26$ ,  $p = .001$ ). Die schwächste, aber ebenfalls signifikante Vorhersage in diesem Modell ist die der Wissensanwendung durch den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs ( $\beta = .21$ ,  $p = .044$ ). Die Modellgüte ist sehr zufriedenstellend ( $\chi^2_{(21)} = 17.78$ ,  $p = .663$ ;  $TLI = 1.01$ ;  $RMSEA = .01$ ;  $CFI = 1.00$ ).

*Einbezug der aktuellen Motivation.* Die Strategienutzung sagt den Wissenszuwachs und die Wissensanwendung ebenfalls signifikant vorher (Abbildung 9c), wenn in dem Strukturgleichungsmodell die Motivation kontrolliert wird ( $\beta = .35$ ,  $p < .001$ , bzw.  $\beta = .28$ ,  $p = .001$ ). Die latente Korrelation der Strategienutzung mit Motivation fällt dagegen schwach aus ( $r = .19$ ,  $p = .007$ ), und die Pfade von der Motivation auf die zwei Variablen des Lernerfolgs sind nicht statistisch bedeutsam. Auch dieses Modell repräsentiert die empirischen Daten gut ( $\chi^2_{(21)} = 20.12$ ,  $p = .514$ ;  $TLI = 1.00$ ;  $RMSEA = .00$ ;  $CFI = 1.00$ ).

*Einbezug des metakognitiven Strategiewissens.* Schließlich ist die Strategienutzung auch unter Kontrolle des metakognitiven Strategiewissens ein bedeutsamer Prädiktor für den Lernerfolg (Wissenszuwachs:  $\beta = .31$ ,  $p < .001$ ; Wissensanwendung:  $\beta = .31$ ,  $p < .001$ ). Ansonsten ähnelt die Ergebnisstruktur dieses Modells weitgehend der Struktur des Modells mit Motivation als Kontrollvariable, mit ebenfalls hoher Modellgüte ( $\chi^2_{(29)} = 30.87$ ,  $p = .371$ ;  $TLI = 1.00$ ;  $RMSEA = .02$ ;  $CFI = 1.00$ ; Abbildung 9d). In *allen* Modellen sagt der deklarativ-konzeptuelle Wissenszuwachs die Leistung im nachfolgenden Wissensanwendungstest signifikant vorher ( $.35 \geq \beta \geq .21$ ;  $p < .001$  bis  $p = .044$ ).



\* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$ ; \*\*\* $p < .001$ ; Anmerkungen: Die Messmodelle wurden zugunsten der Übersichtlichkeit hier nicht dargestellt; siehe dazu aber Anhang 3.

Abbildung 9a-d: Strukturgleichungsmodelle für die Vorhersage von Wissenszuwachs und Wissensanwendung durch Strategienutzung

### 5.3.3 Vorwissen als Moderator

*Hypothese 3: Die Strategienutzung sollte bei hohem Vorwissen ein besserer Prädiktor für den Lernerfolg beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen sein als bei geringem Vorwissen (siehe Kapitel 4.1; Baumert & Köller, 1996; Klahr & Dunbar, 1988; Künsting et al., im Druck; Schraagen, 1993). Um einen potenziellen Moderatoreffekt des deklarativ-*

konzeptuellen Vorwissens auf die Wirksamkeit des IVK-*between*-Einsatzes auf den Lernerfolg untersuchen zu können, wurde die Stichprobe anhand des Vorwissens in zwei Subgruppen geteilt. Die Bildung der Subgruppen erfolgte anhand der Aufspaltung am Mittelwert<sup>12</sup> des deklarativ-konzeptuellen Prätests. Probanden mit hohem Vorwissen zeigten eine signifikant häufigere Strategienutzung als Probanden mit geringem Vorwissen (hohes Vorwissen:  $N = 134$ ,  $M = .35$ ,  $SD = .16$ ; geringes Vorwissen:  $N = 152$ ,  $M = .30$ ,  $SD = .18$ ;  $t_{(284)} = -2.86$ ,  $p = .005$ ,  $d = .31$ ).

*Gruppenvergleich unter Kontrolle der Intelligenz.* Alle Modelle der folgenden Analyse unterliegen strukturell dem gleichen Prinzip wie die Modelle aus Abbildung 9a-d, mit dem Unterschied, dass jedes Strukturmodell einmal für die Gruppe mit hohem Vorwissen, und ein anderes Mal für die Gruppe mit geringem Vorwissen berechnet wurde. Die Strategienutzung erweist sich erwartungskonform nur in der Gruppe mit hohem Vorwissen als ein guter Prädiktor für den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs ( $\beta = .47$ ,  $p < .001$ ; geringes Vorwissen:  $\beta = .13$ ,  $p = .269$ ). Die Vorhersage der Leistung im Wissensanwendungstest zeigt dagegen ein umgekehrtes Muster: Mit  $\beta = .30$  ( $p = .004$ ) ist der Pfad von der Strategienutzung zur Wissensanwendung bei geringem Vorwissen statistisch signifikant, bei hohem Vorwissen jedoch nicht ( $\beta = .22$ ,  $p = .081$ ). Der Pfad von der Intelligenz zum Wissenszuwachs ist in beiden Subgruppen fast identisch, der Pfad von der Intelligenz zur Wissensanwendung ist bei hohem Vorwissen mit  $\beta = .45$  ( $p < .001$ ) jedoch deutlich stärker als bei geringem Vorwissen ( $\beta = .12$ ,  $p = .235$ ). Die latente Korrelation der IVK-*between*-Nutzung mit Intelligenz ist nur bei geringem Vorwissen signifikant ( $r = .34$ ,  $p < .001$ ). Das Modell repräsentiert in beiden nach Vorwissen separierten Gruppen die erhobenen Daten sehr zufriedenstellend (Abbildung 10).

Die a priori angenommenen Unterschiede zwischen den zwei Gruppen wurden via *simultaner* Gruppenanalyse auf Signifikanz geprüft. Dabei wird die Annahme eines *invarianten Modells* (die Gruppen gleichen sich in allen Koeffizienten des Modells) mit der Annahme eines *spezifischen Modells* (die Gruppen unterscheiden sich in einem, mehreren oder in allen Koeffizienten des Modells) verglichen (Arbuckle & Wothke, 1999). Ob die Anpassungsgüte des einen Modells statistisch signifikant besser als die des anderen ist, kann auf Basis der  $\chi^2$ -Wert-Differenz der Modelle getestet werden, die selbst  $\chi^2$ -verteilt ist (Arbuckle & Wothke, 1999). Dabei entsprechen die Freiheitsgrade dieser Differenz der Differenz der Freiheitsgrade der zu vergleichenden Modelle. Zusätzlich kann für den Modellvergleich das *Akaike information criterion* (AIC; Akaike, 1987) herangezogen werden, das (wie *TLI* und *RMSEA*) im Vergleich zum  $\chi^2$ -Wert weniger stichprobenabhängig ist. Ein geringerer AIC bedeutet eine höhere Modellgüte.

<sup>12</sup> Ein Mediansplit in dieser Stichprobe hätte bedingt durch Rangbindungen eine größere Abweichung der Probandenanzahl in den nach Vorwissen gebildeten Gruppen erzeugt als die Aufspaltung am Mittelwert.

Im Ergebnis ist das vollständig spezifische Modell (Freigabe aller Koeffizienten;  $\chi^2_{(42)} = 39.48$ ,  $p = .582$ ;  $TLI = 1.01$ ;  $RMSEA = .00$ ;  $CFI = 1.00$ ) dem invarianten Modell ( $\chi^2_{(48)} = 52.55$ ,  $p = .302$ ;  $TLI = .99$ ;  $RMSEA = .02$ ;  $CFI = .99$ ) überlegen ( $\Delta\chi^2/\Delta df = 2.18$ ,  $p < .025$ ;  $AIC_{\text{invariant}} = 172.55 > AIC_{\text{spezifisch}} = 171.48$ ). Die beiden nach Vorwissen gebildeten Gruppen unterscheiden sich demnach in der Gesamtbetrachtung des Modells signifikant voneinander. Insbesondere das spezifische Modell, in dem nur der Pfad von der Strategienutzung zum Wissenszuwachs freigegeben wird ( $\chi^2_{(47)} = 47.06$ ,  $p = .470$ ;  $TLI = 1.00$ ;  $RMSEA < .01$ ;  $CFI = 1.00$ ), führt zur signifikanten Unterscheidung zwischen den Gruppen ( $\Delta\chi^2/\Delta df = 5.48$ ,  $p < .025$ ;  $AIC_{\text{invariant}} = 172.55 > AIC_{\text{spezifisch}} = 169.06$ ). Dieser bedeutsame Unterschied bleibt erhalten, wenn zusätzlich der Pfad von der Strategienutzung zur Leistung im Wissensanwendungstest sowie die latente Korrelation zwischen Strategienutzung und Intelligenz freigegeben werden ( $\Delta\chi^2/\Delta df = 3.23$ ,  $p < .025$ ;  $AIC_{\text{invariant}} = 172.55 > AIC_{\text{spezifisch}} = 168.85$ ). Jedoch führt die alleinige Freigabe des Pfades von der Strategienutzung zur Wissensanwendung zu keinem signifikanten Gruppenunterschied ( $\Delta\chi^2/\Delta df = 1.18$ ,  $p > .050$ ;  $AIC_{\text{invariant}} = 172.55 < AIC_{\text{spezifisch}} = 173.36$ ).

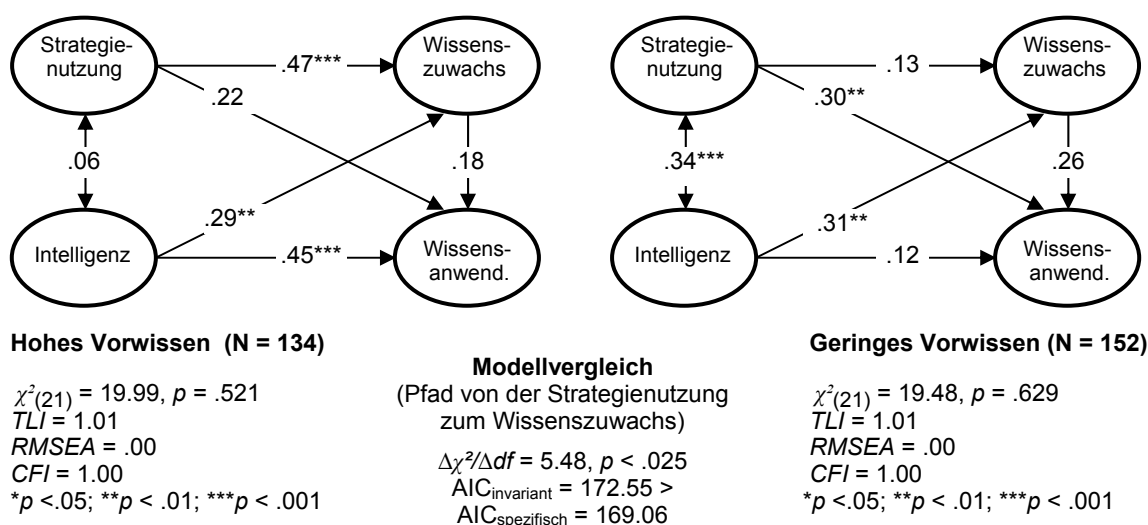


Abbildung 10: Modelle unter Kontrolle der Intelligenz für hohes und geringes Vorwissen

*Gruppenvergleiche unter Kontrolle der aktuellen Motivation beziehungsweise des metakognitiven Strategiewissens.* Werden statt der Intelligenz die Motivation beziehungsweise das metakognitive Strategiewissen in das Modell als Kontrollvariablen einbezogen, resultiert für die zwei relevanten Pfade von der Strategienutzung zum Wissenszuwachs und zur Leistung im Wissensanwendungstest ein ähnliches Ergebnismuster wie unter Kontrolle der Intelligenz (siehe Abbildungen 11 und 12). Auch hier sind bei hohem Vorwissen die Pfade von der Strategienutzung zum

Wissenszuwachs jeweils deutlich stärker als bei geringem Vorwissen (bei Einbezug der Motivation:  $\beta = .51$ ,  $p < .001$  vs.  $\beta = .23$ ,  $p = .054$ ; bei Einbezug des metakognitiven Strategiewissens:  $\beta = .46$ ,  $p < .001$  vs.  $\beta = .20$ ,  $p = .087$ ). In beiden Modellen ist der Pfad von der Strategienutzung zur Wissensanwendung wieder nur bei geringem Vorwissen bedeutsam ( $\beta = .31$  bzw.  $\beta = .32$ ;  $p = .002$ ; siehe Abbildungen 11 und 12).

Den besten Modell-Fit zeigt jeweils das spezifische Modell, in dem die Unterschiedlichkeit zwischen den zwei Gruppen nur im Pfad von der Strategienutzung zum Wissenszuwachs angenommen wird (Modell mit Motivation als Kontrollvariable:  $\chi^2_{(63)} = 62.59$ ,  $p = .491$ ;  $TLI = 1.01$ ;  $RMSEA = .00$ ;  $CFI = 1.00$ ; Modell mit metakognitivem Strategiewissen als Kontrollvariable:  $\chi^2_{(47)} = 42.78$ ,  $p = .649$ ;  $TLI = 1.00$ ;  $RMSEA = .00$ ;  $CFI = 1.00$ ). Im  $\chi^2$ -Differenz-Test sind diese zwei Modelle dem jeweils invarianten Modell (Modell mit Motivation als Kontrollvariable:  $\chi^2_{(64)} = 67.61$ ,  $p = .358$ ;  $TLI = 1.00$ ;  $RMSEA = .01$ ;  $CFI = 1.00$ ; Modell mit metakognitivem Strategiewissen als Kontrollvariable:  $\chi^2_{(48)} = 46.78$ ,  $p = .515$ ;  $TLI = .99$ ;  $RMSEA = .01$ ;  $CFI = .99$ ) statistisch bedeutsam überlegen (Modell mit Motivation:  $\Delta\chi^2/\Delta df = 5.02$ ,  $p < .025$ ;  $AIC_{\text{invariant}} = 167.27 > AIC_{\text{spezifisch}} = 165.53$ ; Modell mit metakognitivem Strategiewissen:  $\Delta\chi^2/\Delta df = 4.00$ ,  $p < .050$ ;  $AIC_{\text{invariant}} = 199.61 > AIC_{\text{spezifisch}} = 196.59$ ). Die alleinige Freigabe des Pfades von der Strategienutzung zur Wissensanwendung macht hingegen wieder keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen aus (Modell mit Motivation:  $\Delta\chi^2/\Delta df = 1.12$ ,  $p > .050$ ;  $AIC_{\text{invariant}} = 167.27 < AIC_{\text{spezifisch}} = 168.15$ ; Modell mit metakognitivem Strategiewissen:  $\Delta\chi^2/\Delta df = .06$ ,  $p > .050$ ;  $AIC_{\text{invariant}} = 199.61 < AIC_{\text{spezifisch}} = 201.05$ ).

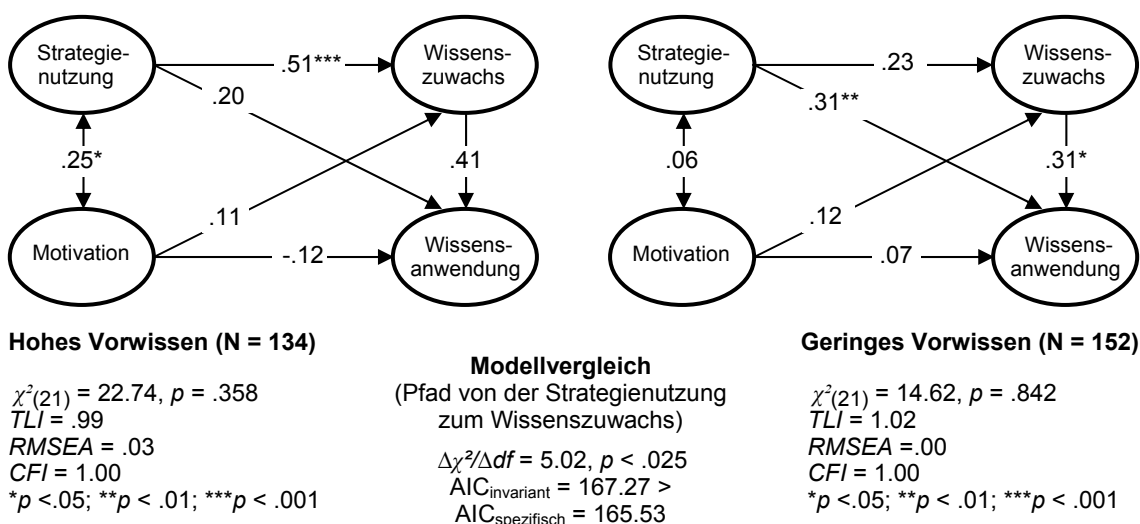


Abbildung 11: Modelle unter Kontrolle der Motivation für hohes und geringes Vorwissen

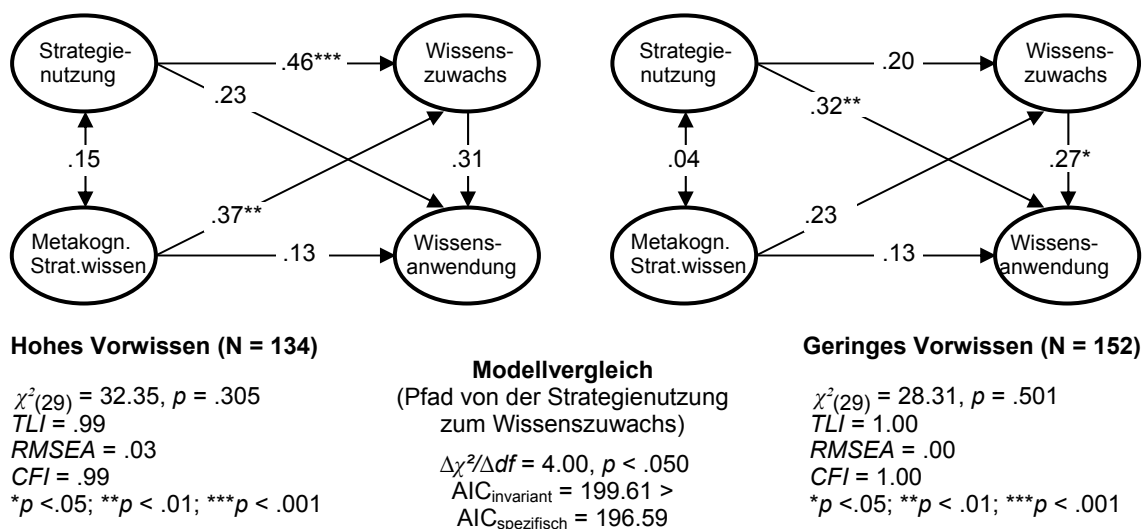


Abbildung 12: Modelle unter Kontrolle des metakognitiven Strategiewissens für hohes und geringes Vorwissen

### 5.3.4 Weitere Analysen

**Schulformspezifische Effekte.** Unterschiedliche Schulformen, wie sie auch in die vorliegende Untersuchung eingingen, können einen Großteil der Varianz von Schülerleistungen erklären (vgl. z.B. Baumert, Trautwein & Artelt, 2003). Bezüglich des deklarativ-konzeptuellen Vorwissens, des deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachses, der Leistung im Wissensanwendungstest, der Intelligenz, des metakognitiven Strategiewissens und der Häufigkeit der Strategienutzung ergab eine einfaktorielle Varianzanalyse zur Überprüfung schulformspezifischer Unterschiede jeweils einen klaren Leistungsvorsprung der Gymnasiasten ( $F_{(2, 421)} = 28.42$  bis  $F_{(2, 305)} = 5.43$ ;  $p < .001$  bis  $p = .005$ ) in der Gesamtstichprobe ( $N = 436$ ). Die entsprechenden Kontrasteffekte dieser Varianzanalyse zeigen dies sowohl für den Vergleich zwischen Gymnasiasten und Hauptschülern als auch für den Vergleich zwischen Gymnasiasten und Realschülern (siehe Tabelle 9, S. 102).

**Geschlechtseffekte.** T-Tests zeigen statistisch bedeutsame geschlechtsspezifische Unterschiede nur für das deklarativ-konzeptuelle Vorwissen und für das Interesse am Unterrichtsfach Physik jeweils zugunsten der Jungen ( $t_{(422)} = 2.79, p = .005, d = .27$  bzw.  $t_{(422)} = 5.95, p < .001, d = .58$ ), aber nicht für den Wissenszuwachs ( $t_{(422)} = 2.79, p = .080$ ).

**Tabelle 9:** Überblick über die schulformspezifischen ANOVA-Kontrasteffekte

| Kontrast  | Abhängige Variable  | GY<br>M (SD) | RS<br>M (SD) | HS<br>M (SD) | $\Delta M$ | t    | df  | p     | Cohen's<br>d |
|-----------|---------------------|--------------|--------------|--------------|------------|------|-----|-------|--------------|
| GY vs. RS | Vorwissen           | .52 (.28)    | .43 (.20)    |              | .09        | 4.01 | 426 | <.001 | .43          |
| GY vs. HS | Vorwissen           | .52 (.28)    |              | .39 (.19)    | .13        | 4.79 | 426 | <.001 | .65          |
| GY vs. RS | Wissenszuwachs      | .31 (.93)    | -.08 (1.08)  |              | .39        | 3.46 | 405 | .001  | .38          |
| GY vs. HS | Wissenszuwachs      | .31 (.93)    |              | -.29 (.74)   | .08        | 4.34 | 405 | <.001 | .70          |
| GY vs. RS | Wissensanwendung    | .64 (.26)    | .42 (.26)    |              | .22        | 6.33 | 343 | <.001 | .84          |
| GY vs. HS | Wissensanwendung    | .64 (.26)    |              | .38 (.25)    | .26        | 6.41 | 343 | <.001 | .99          |
| GY vs. RS | Intelligenz         | .70 (.19)    | .56 (.18)    |              | .14        | 5.10 | 423 | <.001 | .55          |
| GY vs. HS | Intelligenz         | .70 (.19)    |              | .50 (.23)    | .20        | 7.35 | 423 | <.001 | .92          |
| GY vs. RS | Metakog. Stratwiss. | .66 (.20)    | .58 (.17)    |              | .09        | 3.93 | 420 | <.001 | .43          |
| GY vs. HS | Metakog. Stratwiss. | .66 (.20)    |              | .55 (.17)    | .12        | 5.02 | 420 | <.001 | .60          |
| GY vs. RS | Strategienutzung    | .37 (.14)    | .29 (.18)    |              | .08        | 3.27 | 307 | .001  | .47          |
| GY vs. HS | Strategienutzung    | .37 (.14)    |              | .31 (.19)    | .06        | 2.07 | 307 | .040  | .33          |

*Anmerkungen:* GY = Gymnasium; RS = Realschule; HS = Hauptschule; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung;  $\Delta M$  = Differenz der jeweils verglichenen Gruppenmittelwerte; df = Freiheitsgrade; p = Signifikanzniveau. Alle Mittelwerte sind auf den Wertebereich zwischen 0 und 1 normiert.

## 5.4 Diskussion der korrelativen Studie

*Überblick.* Die an den Aufbau des Ergebnisteils angelehnte Diskussion behandelt in Kapitel 5.4.1 zunächst die Befunde zur Frage, ob sich die entwickelte Experimentierumgebung und die zusätzlich konstruierten Instrumente für eine zuverlässige Diagnose des Lernerfolgs und der Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen eignen. Anschließend wird in Kapitel 5.4.2 die Vorhersage des Erfolgs selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch die Strategienutzung unter Kontrolle von Intelligenz, Motivation und metakognitivem Strategiewissen diskutiert. In Kapitel 5.4.3 wird das Vorwissen als Moderator für diese Zusammenhänge näher betrachtet.

### 5.4.1 Zur Evaluation der Experimentierumgebung

In der vorgestellten empirischen Studie wurde eine computerbasierte Experimentierumgebung mit einem curricular validen physikalischen Inhaltsbereich entwickelt und evaluiert. Die Befunde dieses ersten Teils der korrelativen Studie zeigen, dass die entwickelte Experimentierumgebung sich für die Erfassung des Lernerfolgs und der Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren eignet. Die generelle Lernwirksamkeit der Experimentierumgebung konnte nachgewiesen werden: Im Gesamten zeigten die 436 Probanden einen statistisch signifikanten und moderat praktisch bedeutsamen Zugewinn an Wissen ( $d = .43$ ). Dabei haben Probanden mit hohem Vorwissen kaum dazugelernt ( $p = .301$ ), während Probanden mit geringem Vorwissen einen substanziellen Zugewinn an Wissen mit hoher praktischer Bedeutsamkeit verzeichneten ( $p < .001$ ,  $d = 1.15$ ). Die Häufigkeit der



Strategienutzung, der deklarativ-konzeptuelle Wissenszuwachs und die Leistung im Wissensanwendungstest korrelieren statistisch bedeutsam sowohl untereinander als auch jeweils mit der Intelligenz, was ein erster Hinweis auf die Konstruktvalidität des Maßes für die Strategienutzung, der deklarativ-konzeptuellen Wissenstests und des Wissensanwendungstests ist.

#### **5.4.2 Zur Rolle der Strategienutzung als Prädiktor**

Mit Hilfe der vorgestellten computerbasierten Experimentierumgebung konnten statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Nutzungshäufigkeit der Strategievariante *IVK-between* und Variablen des Lernerfolgs aufgedeckt werden (vgl. Kapitel 4.1). Die *IVK-between*-Strategienutzung erwies sich als bedeutsamer Prädiktor des deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachses und der Wissensanwendungsleistung, und zwar unabhängig davon, ob Intelligenz, aktuelle Motivation oder metakognitives Strategiewissen als Kontrollvariablen berücksichtigt wurden. Die Hypothese, dass sich die lernförderliche Wirkung der isolierenden Variablenkontrolle beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren auch in der vorliegenden Experimentierumgebung zeigt, konnte somit bestätigt werden (vgl. Chen & Klahr, 1999; Kröner, 2001; Küsting et al., im Druck; Leutner et al., 2005; Vollmeyer & Rheinberg, 1998). Dies spricht auch für die Validität des Maßes für die Strategienutzung.

Zudem sagte auch die Intelligenz erwartungsgemäß den Lernerfolg bedeutsam vorher, so wie sich in der Gesamtstichprobe auch der deklarativ-konzeptuelle Wissenszuwachs als bedeutsamer Prädiktor für die Wissensanwendung erwies. Hingegen hing die aktuelle Motivation nur signifikant mit der Strategienutzung zusammen, nicht aber mit dem späteren Lernerfolg. Jedoch konnte die aktuelle Motivation während der Untersuchung nur direkt vor Beginn der Explorationsphase gemessen werden. Der motivationale Zustand der Probanden kann sich im Verlauf der Untersuchung aber geändert haben. In diesem Fall wäre das anfängliche Maß für die aktuelle Motivation nicht mehr repräsentativ für den späteren Verlauf der Explorationsphase.

Der Befund, dass das metakognitive Strategiewissen als Kontrollvariable ebenfalls einen eigenständigen Beitrag zur Vorhersage des Lernerfolges leistet, aber mit der *Strategienutzung* nur schwach zusammenhängt, kann Defiziten in der Anwendung dieses Wissens zuzuschreiben sein: Deklaratives Strategiewissen ist nicht mit Anwendungswissen gleichzusetzen und muss somit nicht zwangsläufig in eine effektive Nutzung von Strategien münden (Paris et al., 1983). Insofern spricht der schwache Zusammenhang zwischen Strategiewissen und Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren für ein *Produktionsdefizit*, was auch für Lernstrategien in anderen Lernsituationen berichtet wird (vgl. Hasselhorn, 1992).

### 5.4.3 Zur Rolle des Vorwissens als Moderator

Im Vergleich zu Probanden mit geringem Vorwissen fielen die Pfade von der Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle auf den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs bei Probanden mit hohem Vorwissen durchweg deutlich stärker aus. Dies steht damit im Einklang, dass bei Probanden mit hohem Vorwissen der Anteil strategischer Experimente an allen durchgeführten Experimenten bedeutsam größer ist als bei Probanden mit geringem Vorwissen (vgl. Kapitel 5.3.3). Diese Ergebnisse stützen die Annahme des domänenspezifischen Vorwissens als bedeutsamer Moderator, und zwar unabhängig davon, ob Intelligenz, Motivation oder metakognitives Strategiewissen als zusätzliche Prädiktoren zugelassen werden. Wie erwartet, kann offenbar ein hohes domänenspezifisches Vorwissen die Nutzung der IVK-*between*-Strategie und das Ziehen der richtigen Schlussfolgerungen daraus begünstigen (vgl. Kapitel 2.3.2; vgl. auch Baumert & Köller, 1996; Küsting et al., im Druck; Schraagen, 1993).

Diese moderierende Funktion des Vorwissens wird in der vorliegenden Arbeit allerdings geringfügig eingeschränkt, da die Differenz der  $\beta$ -Koeffizienten zwischen den beiden Vorwissensgruppen je nach LernerfolgsvARIABLE (Wissenszuwachs vs. Wissensanwendung) ein unterschiedliches Vorzeichen trägt (siehe Kapitel 5.3.3). Jedoch führte die alleinige Freigabe des Pfades von der Strategienutzung zur Leistung im Wissensanwendungstest zu keiner signifikanten Unterscheidung zwischen den Gruppen, die alleinige Freigabe des Pfades von der Strategienutzung zum Wissenszuwachs hingegen schon. Dennoch, wie lässt sich diese zumindest tendenzielle Gegensätzlichkeit erklären? Die Probanden mit hohem Vorwissen verfügten auch nach der Explorationsphase noch über deutlich mehr deklarativ-konzeptuelles Wissen ( $M = .59$ ,  $SD = .18$ ) als Probanden mit wenig Vorwissen ( $M = .42$ ,  $SD = .17$ ;  $t_{(284)} = -7.12$ ,  $p < .001$ ,  $d = .93$ ). Somit konnten sie bei der Wissensanwendung auf eine größere Wissensbasis zurückgreifen als Probanden mit wenig (Vor-)Wissen. Für Probanden, die mit vergleichsweise wenig Wissen die Problemlöseaufgaben des Wissensanwendungstests bearbeiteten, wird sich neben der eigentlichen Anforderung, verfügbares Wissen zielgerichtet anzuwenden, noch zusätzlich das Problem gestellt haben, sich fehlendes Wissen aneignen zu müssen. Hierbei scheint die Fähigkeit, die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle einsetzen zu können, lernförderlich zu sein und damit gerade bei Probanden mit wenig (Vor-)Wissen die erfolgreiche Bewältigung des Wissensanwendungstests zu unterstützen.

Zusammenfassend ist die Entwicklung und Evaluation einer computerbasierten Experimentierumgebung gelungen, die zum einen ausreichend lernwirksam ist, um mit ihrer Hilfe die Effekte instruktionaler Bedingungen, wie unterschiedliche Zielvorgaben, untersuchen zu können. Zum anderen wurde die Entwicklung und Evaluierung

konstruktvalider und hinreichend messgenauer Instrumente zur Erfassung des deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachses, der Wissensanwendungsleistung und der Nutzungshäufigkeit der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle dokumentiert. Auch die Vermutung, dass die Strategienutzung ein substanzieller Prädiktor für den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs ist (vgl. Abschnitt 2.2.2.2) und dieser Zusammenhang bedeutsam durch das Vorwissen moderiert wird, konnte bestätigt werden (Kapitel 2.3.2).

Hinsichtlich des deklarativ-konzeptuellen Vorwissens, des deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachses, der Leistung im Wissensanwendungstest, der Intelligenz, des metakognitiven Strategiewissens und der Häufigkeit der Strategienutzung zeigte sich in der Gesamtstichprobe ein klarer Leistungsvorsprung für die Gymnasiasten gegenüber Haupt- und Realschülern. Allerdings sollte dieser Befund vorsichtig interpretiert werden, da die drei Schulformen unterschiedlich stark in der Stichprobe (N = 436) vertreten sind, so dass die Repräsentativität der Substichproben für die jeweilige Schulform unterschiedlich hoch ist (22% Hauptschüler, 47.5% Realschüler, 30.5% Gymnasiasten).

Eine erste praktische Implikation der korrelativen Studie findet sich in der zusammenfassenden Diskussion der vorliegenden Arbeit in Kapitel 7.3.

## **6 Die experimentelle Studie**

*Ausblick auf Kapitel 6.* Das Hauptanliegen der vorliegenden Untersuchung ist es, die Einflüsse von Spezifität und Qualität externaler Zielvorgaben auf den deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg, den *cognitive load* und die Strategienutzung der isolierenden Variablenkontrolle (Typ: IVK-*between*) beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren miteinander zu vergleichen. Dabei wird überprüft, wie stark Vorwissen, Intelligenz, aktuelle Motivation, Interesse und insbesondere die interne Zielorientierung als Kontrollvariablen am Lernerfolg beteiligt sind.

Die in Kapitel 4.2 hergeleiteten Ziele und Annahmen der experimentellen Studie werden in Kapitel 6.1 zu konkreten Fragestellungen und Hypothesen präzisiert. Daran gliedert sich mit Kapitel 6.2 der Methodenteil an, in dem in Kapitel 6.2.1 die Stichprobe beschrieben wird. In Kapitel 6.2.2 werden die für die Hauptstudie entwickelten Experimentalbedingungen in Form der vier Arten externaler Zielvorgaben vorgestellt. Mit Kapitel 6.2.3 schließt sich das Untersuchungsdesign und mit Kapitel 6.2.4 die Versuchsdurchführung an. Alle eingesetzten Instrumente, insbesondere die eigene Entwicklung und Evaluation der notwendigen Erhebungsinstrumente werden in Kapitel 6.2.5 beschrieben. Als Hinweis auf die Konstruktvalidität der entwickelten Instrumente werden in Kapitel 6.2.6 entsprechende korrelative Zusammenhänge berichtet.

Schließlich folgen mit Kapitel 6.3 die experimentellen Ergebnisse in der Reihenfolge der Fragestellungen und Hypothesen aus Kapitel 6.1. Ebenfalls in dieser Reihenfolge werden die Befunde der vorliegenden Studie schließlich in Kapitel 6.4 diskutiert.

## 6.1 Präzisierung der Fragestellungen und Hypothesen

Im Folgenden werden die in Kapitel 4.2 hergeleiteten Forschungsfragen, Annahmen und Ziele in konkrete Fragestellungen und Hypothesen präzisiert: In Kapitel 6.1.1 geschieht dies für den Vergleich von Zielqualität und Zielspezifität, in Kapitel 6.1.2 nur für Problemlöseziele, in Kapitel 6.1.3 nur Lernziele betreffend und in Kapitel 6.1.4 hinsichtlich internaler Zielorientierungen.

### 6.1.1 Zielqualität und Zielspezifität

*Erstens* stellt sich die Frage, ob die Dimension Zielqualität relevanter für den Erfolg selbstreguliert-entdeckenden Lernens durch Experimentieren ist als die Dimension Zielspezifität. Da sowohl spezifische als auch unspezifische Lernziele explizit zum Lernen auffordern, sollten sie unabhängig vom Spezifitätsgrad einen größeren Lernerfolg bewirken als spezifische und unspezifische Problemlöseziele, die beide explizit zum Problemlösen auffordern (Zielqualitätseffekt).

Die Freiheitsgrade unspezifischer Problemlöseziele ermöglichen zwar ebenfalls eine lernzielorientierte Herangehensweise, aber letztlich fordern auch sie zum Problemlösen auf, so dass nur bei einer ausreichend hohen Lernzielorientierung eine Nutzung dieses Freiraumes für Lernprozesse zu erwarten ist. Jedoch ist auch bei geringer Lernzielorientierung zu erwarten, dass sowohl spezifische als auch unspezifische Lernziele, die beide zum Lernen, statt zum Problemlösen auffordern, eher Lernprozesse bewirken als unspezifische Problemlöseziele (vgl. Kapitel 4.2). Die Zielspezifität sollte nur bei Problemlösezielen, nicht aber bei Lernzielen eine Rolle spielen, und Lernziele sollten insgesamt lernförderlicher sein als Problemlöseziele. Deshalb wird erwartet, dass sich qualitative Unterschiede zwischen Zielvorgaben (vgl. Kapitel 3.2.2) stärker auf den Lernerfolg auswirken als Unterschiede in der Zielspezifität.

*1. Ist die Zielqualität (Problemlöseziele vs. Lernziele) relevanter für den Lernerfolg als die Zielspezifität (spezifische vs. unspezifische Ziele)?*

*Hypothese 1a: Lernziele bewirken einen signifikant höheren Lernerfolg als Problemlöseziele.*

*Hypothese 1b: Unspezifische Ziele bewirken keinen signifikant höheren Lernerfolg als spezifische Ziele.*

*Zweitens* gilt es die Frage zu beantworten, ob Lernziele und Problemlöseziele bedeutsame Unterschiede im *cognitive load* und in der Häufigkeit der Strategienutzung bewirken. Da die kognitiv belastende Mittel-Ziel-Analyse gemäß Sweller (1988, 1994) kaum oder nicht bei unspezifischen Problemlösezielen angewendet wird (Kapitel 3.4.3), sollten sich letztere im *cognitive load* nicht substanziell von Lernzielen unterscheiden. Insbesondere bei einer Kongruenz zwischen internaler (Problemlöse-)Zielorientierung

einer Person und einem external gesetzten spezifischen Problemlöseziel ist zwar der kognitiv belastende Einsatz der Mittel-Ziel-Analyse zu erwarten. Allerdings sollte hier zumindest keine dual-task-Bedingung (Sweller, 1988, 1994) entstehen, weil eine solche Person nicht motiviert sein wird, zusätzlich viel zu lernen. Zudem sollten intensive Lernprozesse ebenfalls einen hohen *cognitive load* (*germane load*) erzeugen können. Letztlich wird vermutet, dass Lern- und Problemlöseziele zwar ein vergleichbar hohes Gesamtausmaß an kognitiver Kapazität beanspruchen können, aber dass diese Kapazität in unterschiedliche Prozesse investiert wird (Lern- vs. Problemlöseprozesse).

Unspezifische Problemlöseziele bewirken nach Sweller (1988, 1994) eine lernzielorientierte Herangehensweise, so dass sie beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen auch zu einer häufigeren Nutzung der isolierenden Variablenkontrolle als Lernstrategie führen sollten als spezifische Problemlöseziele. Insgesamt sollten Lernziele jedoch eine häufigere Lernstrategienutzung bewirken als Problemlöseziele: Unabhängig vom Spezifitätsgrad fordern Lernziele explizit zum Lernen auf, Problemlöseziele dagegen explizit zum Problemlösen (vgl. Kapitel 4.2).

*2. Spielt die Zielqualität (Problemlöseziele vs. Lernziele) nicht nur für den Lernerfolg, sondern ebenfalls für den cognitive load und die Strategienutzung eine Rolle?*

*Hypothese 2a: Problemlöseziele bewirken keinen signifikant höheren cognitive load als Lernziele.*

*Hypothese 2b: Lernziele bewirken eine häufigere Strategienutzung als Problemlöseziele.*

### **6.1.2 Problemlöseziele**

*Drittens* sollte sich der Effekt, dass unspezifische Problemlöseziele zu mehr Lernerfolg führen als spezifische Problemlöseziele (Kapitel 4.2; Sweller, 1988, 1994), auch in dieser Untersuchung zeigen.

*3. Lässt sich der Zielspezifitätseffekt (z.B. Sweller, 1988, 1994) für Problemlöseziele in der vorliegenden Studie replizieren?*

*Hypothese 3: Unspezifische Problemlöseziele bewirken einen signifikant höheren Lernerfolg als spezifische Problemlöseziele.*

*Viertens* gilt es zu klären, ob sich die noch nicht hinreichend empirisch belegte Tendenz unspezifischer Problemlöseziele, einen geringeren *cognitive load* aufzuerlegen als spezifische Problemlöseziele (z.B. Ayres, 1993; Sweller, 1988, 1994; Trumpower et al., 2004), in dieser Arbeit nachweisen lässt (siehe Kapitel 4.2).

*4. Belastet die Bearbeitung unspezifischer Problemlöseziele das Arbeitsgedächtnis geringer als die Bearbeitung spezifischer Problemlöseziele?*

*Hypothese 4: Unspezifische Problemlöseziele erlegen einen signifikant geringeren cognitive load auf als spezifische Problemlöseziele.*

*Fünftens* liegt noch keine experimentelle Studie vor, innerhalb der alle drei lernförderlichen Aspekte unspezifischer Problemlöseziele gemeinsam nachgewiesen wurden: Es gilt noch die Frage zu beantworten, ob sich unspezifische Problemlöseziele im Vergleich zu spezifischen Problemlösezielen zugleich auf den Lernerfolg, auf den *cognitive load* und auf die beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen relevante Nutzung der Lernstrategie der isolierenden Variablenkontrolle vorteilhaft auswirken (vgl. Abschnitt 3.2.1.2; Burns, Vollmeyer & Holyoak, 1996).

*5. Bewirken unspezifische Problemlöseziele verglichen mit spezifischen Problemlösezielen eine häufigere Strategienutzung?*

*Hypothese 5: Unspezifische Problemlöseziele bewirken eine signifikant häufigere Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle als spezifische Problemlöseziele.*

### **6.1.3 Lernziele**

*Sechstens* bedarf es der Klärung, ob der nur lernerfolgsbezogene Zielspezifitätseffekt nur bei Problemlösezielen beobachtbar ist, oder auch bei Lernzielen (siehe Kapitel 4.2). Sowohl spezifische als auch unspezifische Lernziele fordern zum Lernen auf und sollten deshalb beide nicht die Anwendung der kognitiv belastenden Problemlösestrategie der Mittel-Ziel-Analyse auslösen. Daher sollten sie auch keine bedeutsamen Unterschiede hinsichtlich des Lernerfolgs, des *cognitive load* und der Häufigkeit der Strategienutzung bewirken (siehe Kapitel 4.2).

*6. Sind die Effekte der Zielspezifität auf den Lernerfolg, auf den cognitive load und auf die Häufigkeit der Strategienutzung auf den Vergleich von spezifischen mit unspezifischen Problemlösezielen beschränkt, oder zeigen sie sich ebenfalls beim Vergleich von spezifischen mit unspezifischen Lernzielen?*

*Hypothese 6a: Unspezifische Lernziele bewirken keinen signifikant höheren Lernerfolg als spezifische Lernziele.*

*Hypothese 6b: Unspezifische Lernziele bewirken keinen signifikant geringeren cognitive load als spezifische Lernziele.*

*Hypothese 6c: Unspezifische Lernziele bewirken keine signifikant häufigere Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle als spezifische Lernziele.*

### **6.1.4 Internale Lernzielorientierung und externale Zielvorgaben**

*Siebtens* ist zusätzlich offen, inwieweit das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung als motivationale Variable die Effekte der externalen Zielvorgaben auf den Lernerfolg beeinflussen kann (Kapitel 4.2). Externale Lernzielvorgaben könnten beispielsweise an Lernförderlichkeit zumindest graduell gewinnen/einbüßen, wenn ihnen eine hohe/geringe

internale Lernzielorientierung gegenübersteht, weil in einem solchen Fall die Wahrscheinlichkeit für die Übernahme eines externalen Lernziels erhöht/verringert sein sollte (vgl. Kapitel 3.3). Kann ein external gesetztes Lernziel nur dann seine potenzielle lernförderliche Wirkung voll entfalten, wenn es von einer Person auch hinreichend übernommen wird (vgl. Abschnitt 3.2.2.2 und Kapitel 3.3), so sollte es sich bei einer hohen internalen Lernzielorientierung lernförderlicher auswirken als bei einer geringen. Damit ist einerseits nicht auszuschließen, dass sich externale Lernziele nur unter der Voraussetzung einer hinreichend hohen internalen Lernzielorientierung bedeutsam lernförderlicher auswirken als externale Problemlöseziele. Andererseits ist denkbar, dass Lernziele, bedingt durch ihre explizite Aufforderung zum Lernen, auch von weniger hoch lernzielorientierten Probanden erreicht werden (z.B. wenn leistungsmotivierte Personen das Erreichen eines Lernziels als Leistungsindikator betrachten).

Die als geringer angenommene Lernförderlichkeit externaler Problemlöseziele könnte durch eine hohe interne Lernzielorientierung tendenziell verbessert werden, da eine hohe Lernzielorientierung der motivationalen Neigung entspricht, etwas dazulernen zu wollen. Jedoch sollte der *cognitive load* unter externalen Problemlösezielen auch bei einer hohen internalen Lernzielorientierung zu einem bestimmten Ausmaß durch Problemlöseprozesse gebunden werden. Es wird beispielsweise nicht angenommen, dass eine hohe Lernzielorientierung die als wenig lernförderlich angenommenen Effekte externaler spezifischer Problemlöseziele wesentlich kompensieren kann, weil letztere stringent zum Problemlösen auffordern und wenig Freiraum zum Lernen lassen (vgl. Kapitel 4.2).

Insgesamt scheint die Annahme einer zwar geringfügigen, aber zumindest statistisch bedeutsamen Moderatorfunktion der Lernzielorientierung für den Einfluss der Dimension *Zielqualität* (externale Lern- vs. Problemlöseziele) auf den Lernerfolg gerechtfertigt. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die direktiven externalen Zielvorgaben einen größeren Einfluss auf den Lernerfolg haben als das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung. Zudem wird das Ausmaß an Lernzielorientierung nicht zielqualitätsübergreifend die lernerfolgsbezogene Wirkung der *Zielspezifität* (externale spezifische vs. unspezifische Ziele) beeinflussen, weil sich die Spezifität nur bei Problemlösezielen bedeutsam auf den Lernerfolg auswirken sollte, nicht aber bei Lernzielen (vgl. Kapitel 4.2).

*7. Können die Effekte externaler Zielvorgaben auf den Lernerfolg durch das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung bedeutsam verstärkt respektive abgeschwächt werden?*

*Hypothese 7a: Die Effekte der Zielqualität auf den Lernerfolg werden durch das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung zwar geringfügig, aber statistisch signifikant moderiert.*

*Hypothese 7b: Die Effekte der Zielspezifität auf den Lernerfolg werden durch das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung nicht statistisch signifikant moderiert.*

## 6.2 Methode

Für die vorliegende experimentelle Studie wurde die in Kapitel 5 vorgestellte Experimentierumgebung zum Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ in überarbeiteter und optimierter Fassung verwendet (siehe Abbildung 14, S. 117). Für die Beantwortung der Fragestellungen der experimentellen Studie wurden aufbauend auf die korrelative Studie erweiterte Funktionen (z.B. das Einblenden von Zielvorgaben) und zusätzliche Module in die computerbasierte Experimentierumgebung integriert (z.B. die Implementation von Instruktionen und Tests). Zusätzlich wurden neue Instrumente zur Messung von Zielorientierungen und des *cognitive load* entwickelt.

### 6.2.1 Stichprobe

Die Stichprobe der experimentellen Studie besteht aus 233 Gymnasiasten (Durchschnittsalter  $M = 14.5$  Jahre,  $SD = .77$ ; 48.5% weiblich; 51.5% männlich) der Klassenstufen 8 (33.2%), 9 (58.4%) und 10 (8.4%) aus fünf Gymnasien in Nordrhein-Westfalen. Es gingen nur Klassen ohne bisherigen Unterricht zum Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ ein. Als Voraussetzung für das messbare Niederschlagen der Effekte externaler Zielvorgaben auf den Erfolg des selbstreguliert-entdeckenden Lernens beim Experimentieren wird in der vorliegenden Arbeit ein ausreichendes Maß an metakognitivem Strategiewissen und der Fähigkeit zur Strategienutzung angenommen. Da sich in der korrelativen Studie gezeigt hat, dass Haupt- und Realschüler im Vergleich zu Gymnasiasten bedeutsam schwächer im metakognitiven Strategiewissen und in der Strategienutzung abschneiden (siehe Kapitel 5.3.4), wurden in die Stichprobe der experimentellen Studie nur Gymnasiasten einbezogen. Auch könnten verbale Kompetenzunterschiede zwischen den Schulformen (vgl. Prenzel et al., 2004) die Effekte externaler Zielvorgaben auf das selbstreguliert-entdeckende Lernen abschwächen. Etwaige Gruppenunterschiede könnten beispielsweise trotz randomisierter Zuweisung zu Experimentalbedingungen ausbleiben, wenn zu viele Schüler aufgrund verbaler Defizite während der Lernphase nicht so von lernförderlichen externalen Zielvorgaben profitieren können, dass es sich im anschließenden Wissenstest messbar niederschlägt. Durch diese Beschränkung auf Gymnasiasten steht in der vorliegenden Untersuchung die interne Validität gegenüber der externen Validität im Vordergrund, was für die Ergebnisse natürlich schulformübergreifende Aussagen ausschließt. Zusätzlich ist die Stichprobe in Abhängigkeit vom Forschungsdesign aufgrund bundeslandspezifischer Beschränkung (auf Nordrhein-Westfalen), schulformspezifischer Beschränkung (auf Gymnasien), schulspezifischer Beschränkung (auf fünf Schulen) und



schulklassenspezifischer Beschränkung (auf die Klassen 8-9<sup>13</sup>) keine reine Zufallsstichprobe, sondern eine Clusterstichprobe (vgl. Sibberns & Baumert, 2001).

### 6.2.2 Konstruktion der externalen Zielvorgaben

Der Inhaltsbereich der für die experimentelle Studie vorliegenden Experimentierumgebung kann durch 14 explorierbare Relationen zwischen Variablen (siehe Anhang 5) vollständig repräsentiert werden (z.B. eine Relation zwischen Auftriebskraft ( $F_A$ ) und Gewichtskraft ( $F_G$ ): Ein Körper befindet sich im Wasser. Wenn seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) größer ist als seine Gewichtskraft ( $F_G$ ), dann steigt er).

Als experimentelle Bedingungen wurden *spezifische Problemlöseziele*, *unspezifische Problemlöseziele*, *spezifische Lernziele* und *unspezifische Lernziele* konstruiert, die zur lernziel- beziehungsweise problemlösezielorientierten Exploration dieser 14 Relationen in der Experimentierumgebung auffordern. Dabei sind alle 14 Relationen als situationaler Zustand herstellbar, so dass nicht nur über die Vorgabe von Lernzielen, sondern auch über die Vorgabe von Problemlösezielen (die zum Herstellen situationaler Zustände auffordern) die 14 Relationen repräsentiert und somit explorierbar sind. Genauso wurde sichergestellt, dass das Erreichen der zwei unspezifischen Zielarten denselben Explorationsspielraum bestehend aus den 14 Relationen aufspannt wie das Erreichen der zwei spezifischen Zielarten. Damit wurde die Anzahl potenziell zu explorierender Relationen über die vier Arten von Zielvorgaben hinweg konstant gehalten.

In diesem Zusammenhang wurde das Modul für die Formveränderung von Körpern für die vorliegende Untersuchung entfernt, da die Form eines Körpers mit keiner anderen Variablen in der Experimentierumgebung zusammenhängt: Beispielsweise macht die situationale Formulierung des spezifischen Problemlöseziels „*Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit der Form, bei der seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) am größten ist!*“ keinen Sinn, weil die Form eines Körpers (als Distraktor in der korrelativen Studie) keinen Einfluss auf seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) hat. Durch die Herausnahme des Moduls der Formveränderung sind nicht mehr 360 Zustände im Experimenterraum möglich, sondern nur noch 120.

Bei der Konstruktion der insgesamt vier Zielarten (siehe Anhang 4) wurden zum einen Expertenurteile herangezogen und eine Pilotstudie hinsichtlich der Schülerverständlichkeit durchgeführt. Zum anderen wurden alle vier Arten von Zielvorgaben theoriegeleitet konstruiert, wobei insbesondere eine saubere Trennung der Zielmerkmale Berücksichtigung fand. So unterscheiden sich spezifische und unspezifische Problemlöseziele nur im Spezifitätsgrad voneinander, was analog auch für

---

<sup>13</sup> Zehnte Klassen ließen sich kaum erheben, da hier der Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ zumeist bereits unterrichtet wurde. Der geringe Anteil von nur 8.4% Zehntklässlern in dieser Stichprobe, der zudem aus einer einzigen untersuchten zehnten Klasse stammt, erlaubt keine repräsentative Aussage über die zehnte Jahrgangsstufe der fünf untersuchten Gymnasien.

die Gegenüberstellung von spezifischen und unspezifischen Lernzielen gilt. Zwischen Problemlösezielen und Lernzielen wurden nur die Merkmalsunterschiede zugelassen, welche die jeweilige Zielart definieren: Sowohl die angesprochenen Relationen als auch der Spezifitätsgrad wurden zwischen spezifischen Problemlöse- und Lernzielen beziehungsweise zwischen unspezifischen Problemlöse- und Lernzielen jeweils konstant gehalten. *Innerhalb* einer jeweiligen Zielart wurde auch das Formulierungsmuster so homogen wie möglich gestaltet. Die Intention der Untersuchung besteht somit nicht in der Erschaffung didaktisch aufbereiteter Ziele, um einen möglichst hohen Lernerfolg zu erzielen. Vielmehr sollen generelle Unterschiede zwischen diesen Zielvorgaben bezüglich ihrer Lernförderlichkeit frei von Merkmalskonfundierung überprüft werden, damit die Lernerfolgsvarianz eindeutig nur auf die Zielmerkmale zurückgeführt werden kann, die für eine Zielart charakteristisch sind.

1. *Spezifische Problemlöseziele.* Unter dieser Zielbedingung repräsentiert jedes spezifische Problemlöseziel eine der 14 Relationen. Zum Beispiel: „Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit dem Verhältnis zwischen *Auftriebskraft* ( $F_A$ ) und *Gewichtskraft* ( $F_G$ ), bei dem er steigt!“. Diese Zielart fordert dazu auf, einen spezifischen situationalen Zustand herzustellen (vgl. Abschnitt 3.2.2.1). Dabei muss nicht zwangsläufig etwas über die Relation gelernt werden, welche die Zielvorgabe repräsentiert, da der Zustand durch den Einsatz der Mittel-Ziel-Analyse oder Versuch-Irrtum-Vorgehensweisen erreicht werden kann.
2. *Unspezifische Problemlöseziele.* Um ebenfalls die Exploration der 14 Relationen zu ermöglichen, ohne jedoch spezifisch jede einzelne Relation anzusprechen, wurden drei unspezifische Problemlöseziele konzipiert. Zum Beispiel: „Lasse neun Körper *direkt nacheinander* in nur einem der zwei Gefäße *steigen!*“ Auch diese unspezifischen situationalen Zustände ließen sich prinzipiell über die Mittel-Ziel-Analyse und Versuch-Irrtum-Vorgehensweisen herstellen und erforderten die Exploration aller Relationen in der Experimentierumgebung, die auch für das Lösen aller 14 spezifischen Problemlöseziele notwendig waren.
3. *Spezifische Lernziele.* Analog zu den 14 spezifischen Problemlösezielen wurde auch unter dieser Zielbedingung jede der 14 Relationen durch ein spezifisches Lernziel repräsentiert. Zum Beispiel: „Finde heraus, wie das *Steigen* eines Körpers mit dem Verhältnis zwischen seiner *Auftriebskraft* ( $F_A$ ) und seiner *Gewichtskraft* ( $F_G$ ) zusammenhängt und merke es dir!“ Statt, wie bei einem spezifischen Problemlöseziel, eine Relation anzusprechen, indem ein entsprechender situationaler Zustand hergestellt werden soll, wird hier explizit dazu aufgefordert, etwas über die Relation zu lernen (vgl. Abschnitt 3.2.2.2).
4. *Unspezifische Lernziele.* Analog zu den drei unspezifischen Problemlösezielen wurden drei unspezifische Lernziele konstruiert, die wie spezifische Lernziele

explizit zum Lernen aufforderten, ohne spezifisch jede einzelne Relation anzusprechen. Zum Beispiel: „Finde so viel wie möglich darüber heraus, womit es zusammenhängt, dass manche Körper im Wasser *steigen* und merke es dir!“

### 6.2.3 Design der Untersuchung

Durch die Kombination von Zielqualität und Zielspezifität als Faktoren ergeben sich die vier unterschiedlichen externalen Zielvorgaben als  $2 \times 2$ -Design (Tabelle 10). In jedem Quadranten der Tabelle 10 ist ein Beispiel für eine entsprechende Zielvorgabe aufgeführt. Bei der innerhalb von Schulklassen randomisierten Zuweisung der Schüler zu den vier Zielbedingungen entstanden vier ähnlich große Experimentalgruppen (EG;  $56 \leq N \leq 61$ ).

*Tabelle 10:* Kombination von Zielqualität und Zielspezifität als  $2 \times 2$ -Design

|                |                     | Zielqualität  |   |
|----------------|---------------------|---|---|
|                |                     | Problemlöseziele  | Lernziele   |
| Zielspezifität | Spezifische Ziele   | <i>EG1 (N = 61; 14 Ziele)</i><br>„Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit dem Verhältnis zwischen <i>Auftriebskraft</i> ( $F_A$ ) und <i>Gewichtskraft</i> ( $F_G$ ), bei dem er steigt!“ | <i>EG3 (N = 59; 14 Ziele)</i><br>„Finde heraus, wie das Steigen eines Körpers mit dem Verhältnis zwischen seiner <i>Auftriebskraft</i> ( $F_A$ ) und seiner <i>Gewichtskraft</i> ( $F_G$ ) zusammenhängt und merke es dir!“ |
|                | Unspezifische Ziele | <i>EG2 (N = 57; 3 Ziele)</i><br>„Lasse neun Körper DIREKT NACHEINANDER in nur einem der zwei Gefäße <i>steigen</i> !“   | <i>EG4 (N = 56; 3 Ziele)</i><br>„Finde so viel wie möglich darüber heraus, womit es zusammenhängt, dass manche Körper im Wasser <i>steigen</i> und merke es dir!“   |

*Anmerkungen:* EG = Experimentalgruppe

### 6.2.4 Versuchsdurchführung und Testreihenfolge

*Organisatorisches.* Organisatorisch wurde die experimentelle Studie analog zur korrelativen Studie durchgeführt (siehe dazu Kapitel 5.2.4).

*Vorgehen.* Eine Untersuchung dauerte etwa eine Schul-Doppelstunde (90 Minuten; für eine Skizze der Erhebung siehe Abbildung 13, S. 116) und fand während der regulären Unterrichtszeit statt. Alle Schüler wurden innerhalb einer Klasse per Zufallsauswahl einer von vier Experimentalbedingungen zugeordnet. Nach kurzer Begrüßung und Information über den Ablauf der Untersuchung wurden etwa drei Minuten für eine Einführung der prinzipiellen Bedeutung der Begriffe „Dichte“ und „Verhältnis“ sowie für die Abgrenzung der Begriffe „Sinken, Schweben, Steigen“

verwendet. Dies diene dazu, eine ungefähre Vorstellung von diesen Begriffen zu erzeugen, um einer Ratetendenz beim deklarativ-konzeptuellen Vorwissenstest entgegenzuwirken. Für diese Einführung relevanter Begriffe erhielten die Schüler ein Blatt (siehe Anhang 13), das vom Testleiter kurz erläutert wurde.

Danach wurde ein Testheft zur Erfassung von Zielorientierungen, demografischen Daten und des Interesses am Unterrichtsfach Physik (ca. 10 Minuten; Anhänge 5 bzw. 11) vorgelegt, um anschließend mit der achtminütigen KFT-Skala der figuralen Analogien fortzufahren. Die Instruktionen aller Instrumente wurden mündlich begleitet.

Am Ende dieser ersten etwa 23 Minuten begann jeder Schüler an seinem Computer mit dem deklarativ-konzeptuellen Vorwissenstest (ca. 10-minütig, Anhang 8), dessen Fertigstellung automatisch zu zwei einführenden Übungen für die Bedienung der Experimentierumgebung führte (vgl. Kapitel 5.2.1). In der ersten dieser computerbasierten Übungen wurde unter Rückgriff auf alltagswissenschaftliche Konzepte die Bedienung des simulierten grafischen Notizblocks (Hypothesenraum; siehe Abbildung 14) über 18 Bildschirmseiten eingeübt. Dabei wurden auf dem Bildschirm vier Beispiele präsentiert und drei interaktive Übungen zur grafischen Darstellung über Zusammenhänge zwischen alltagswissenschaftlichen Variablen von den Schülern selbst durchgeführt. Zu den interaktiven Übungen wurden entsprechende Rückmeldungsfenster über die Richtigkeit der Übungsergebnisse eingeblendet (erster Fehlversuch: Aufforderung zu einem neuen Versuch; zweiter Fehlversuch: Wahlmöglichkeit zwischen eigenem Neu-Versuch oder sich die richtige Lösung anzeigen zu lassen; dritter Fehlversuch: Automatisches Einblenden der richtigen Lösung). In der zweiten Übung wurden im Zuge von sieben Bildschirmseiten Begriffe, Module und das Durchführen von Experimenten im Experimentierlabor (Experimenterraum; siehe Abbildung 14) erklärt. Beide Übungen zusammen dauerten durchschnittlich etwa 15 Minuten.

An die folgende zweiminütige Bearbeitung des Fragebogens zur aktuellen Motivation (FAM; siehe Anhang 9) schloss sich die *20-minütige Explorationsphase* an, in der die Zielvorgaben als Textfenster eingeblendet wurden. Die maximale Einblenddauer lag für die jeweils 14 spezifischen Problemlöse- und Lernzielvorgaben im Durchschnitt bei 86 Sekunden pro Zielvorgabe. Die drei unspezifischen Problemlöse- und Lernzielvorgaben wurden jeweils 400 Sekunden eingeblendet (wobei es nur leichte Abweichungen gab, je nach vermuteter Schwierigkeit; für die genauen Zeitangaben pro Zielvorgabe siehe Anhang 4a-d). Nach Verstreichen der maximalen Einblenddauer wurde automatisch das nächste Ziel eingeblendet, um eine Mindestbearbeitungszeit pro Zielvorgabe und Schüler zu gewährleisten. Für die spezifischen und unspezifischen Problemlöseziele wurde eine Zielerreichungskontrolle in das Computerprogramm implementiert, damit bei Erreichen eines Ziels automatisch ein neues Ziel eingeblendet werden kann. Im Falle eines vorzeitigen Erreichens aller Problemlöseziele vor dem Verstreichen der 20-

minütigen Explorationsphase wurden jeweils der Zielart entsprechende weitere Zielvorgaben eingeblendet, die keine neuen Relationen enthielten, sondern bereits gesehene in geänderter Formulierung. Um ein Mindestmaß an lernerseitiger Autonomie in der Progression der Zielvorgaben zu gewährleisten, gab es bei den spezifischen Problemlösezielen zusätzlich nach durchschnittlich 55 Sekunden und bei den unspezifischen Problemlösezielen nach durchschnittlich 280 Sekunden ab dem Erscheinen eines Ziels die Möglichkeit, auf die Schaltfläche „*Auftrag nicht erfüllt – trotzdem weiter!*“ zu klicken.

Für die spezifischen und unspezifischen Lernziele konnte keine Zielerreichungskontrolle implementiert werden, da sich durch das Programm nur erreichte situationale Zustände (die bei den Problemlösezielen gefordert waren) registrieren lassen, aber nicht, ob ein Schüler etwas über einen Zusammenhang herausgefunden hat (was bei den Lernzielen gefordert war). Deshalb gab es für die Progression in den zwei Lernzielbedingungen die zwei Schaltflächen „*Erledigt!*“ und „*Auftrag nicht erfüllt – trotzdem weiter!*“, durch die neue Ziele eingeblendet wurden. Diese Schaltflächen konnten analog zu den Problemlösezielen bei den spezifischen Lernzielen nach durchschnittlich 55 Sekunden und bei den unspezifischen Lernzielen nach durchschnittlich 280 Sekunden ab ihrem Erscheinen angeklickt werden.

Unmittelbar nach der 20-minütigen Explorationsphase wurden die Schüler per Bildschirmanzeige dazu aufgefordert, einen etwa zweiminütigen papier-bleistift-basierten Fragebogen zum *cognitive load* (Anhang 7) auszufüllen, um die intro- und retrospektive Gesamteinschätzung der kognitiven Anforderung der zuvor dargebotenen Zielvorgaben der Explorationsphase zu erhalten. Abschließend wurde am Computer der deklarativ-konzeptuelle Wissenstest als Posttestversion (ca. zehnminütig, Anhang 8) dargeboten, dessen Ende automatisch zu den 15 Problemlöseaufgaben des etwa zehnminütigen Wissensanwendungstests (Abbildung 16, S. 126) führte.

Anhang 14 präsentiert getrennt für die vier Experimentalgruppen (Kapitel 6.2.3) deskriptive Mittelwerte, Standardabweichungen und -fehler der mit den Instrumenten gemessenen abhängigen Variablen (Wissenszuwachs, Wissen zum Posttestzeitpunkt, Wissensanwendung, *cognitive load*, Strategienutzung und insgesamt von den Schülern in der Experimentierumgebung durchgeführte Experimente).

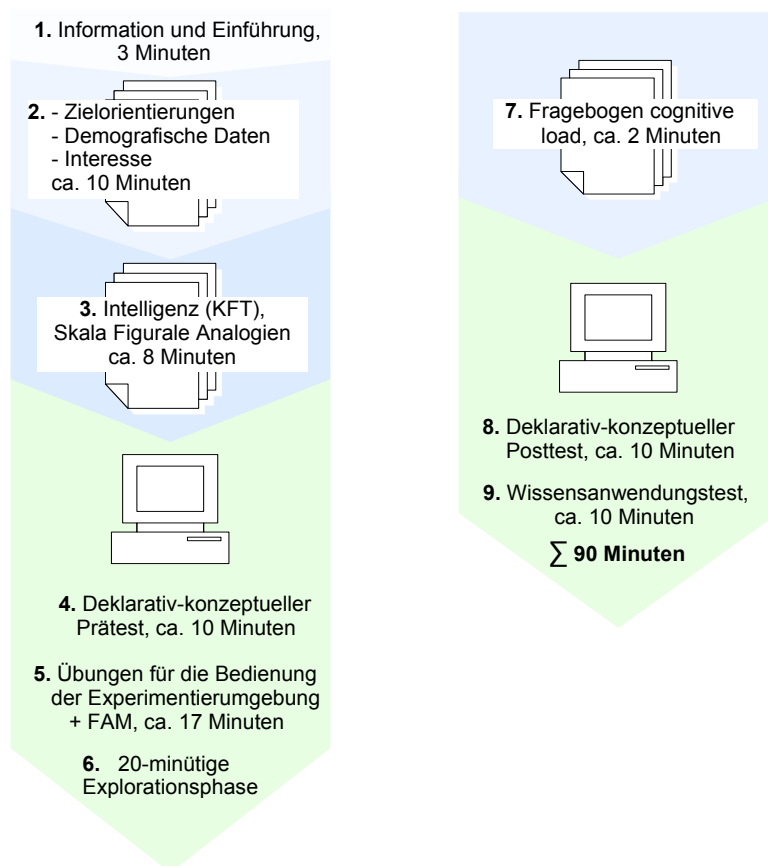


Abbildung 13: Skizze für den Ablauf der Datenerhebung der experimentellen Studie

### 6.2.5 Instrumente

Neben der optimierten Fassung der Experimentierumgebung (Abbildung 14) wurden für die vorliegende experimentelle Studie die vier Arten externaler Zielvorgaben als experimentelle Bedingungen (Tabelle 10) sowie zwei Fragebögen neu entwickelt (zur Erfassung von Zielorientierungen bzw. des *cognitive load*). Die deklarativ-konzeptuellen Wissenstests der korrelativen Studie (Abschnitt 5.2.3.1) wurden optimiert und konzeptuell an die externalen Zielvorgaben angepasst. Zusammen mit dem Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM; Rheinberg et al., 2001) wurden sie in die computerbasierte Experimentierumgebung implementiert. Der computerbasierte Wissensanwendungstest (Abschnitt 5.2.3.1) wurde funktional, grafisch und hinsichtlich zweier Aufgaben optimiert (Abschnitt 6.2.5.3, Abbildung 16). Die Ermittlung statistischer Kennwerte der entwickelten Instrumente und korrelativer Zusammenhänge zwischen den mittels dieser Instrumente erfassten Konstrukten dienen der Evaluation der Instrumente. Sie basieren auf der in Kapitel 6.2.1 beschriebenen Stichprobe.

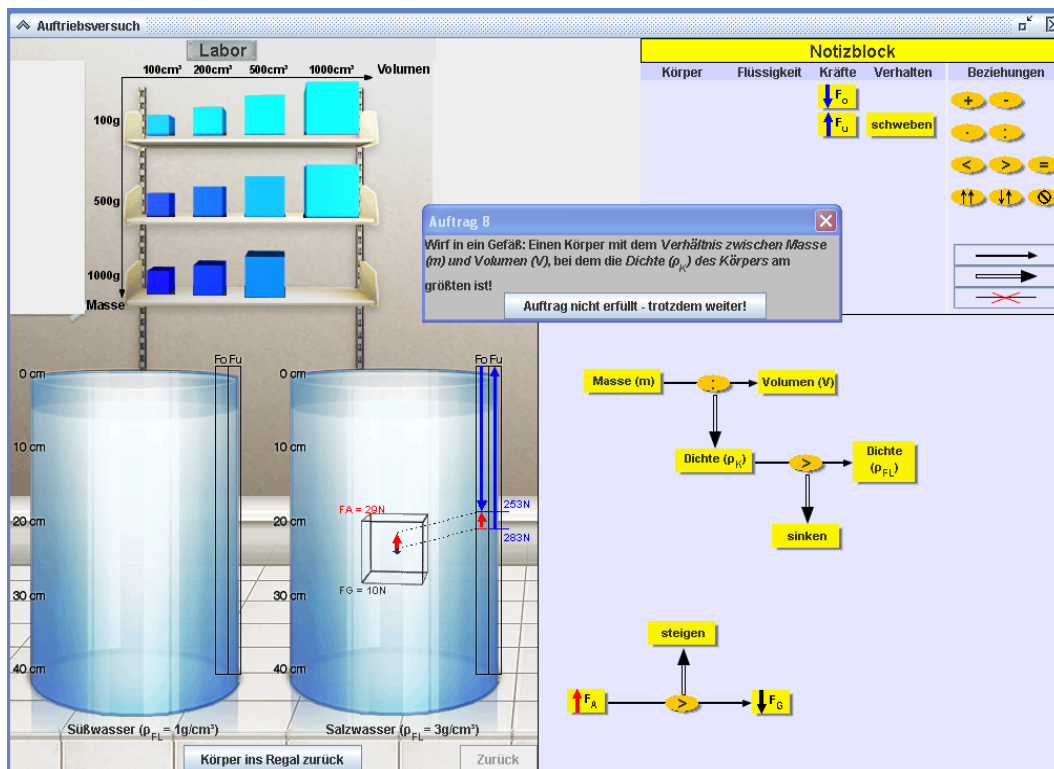


Abbildung 14: Screenshot der computerbasierten Experimentierumgebung (Explorationsphase mit Darbietung der Zielvorgaben) in der experimentellen Studie

### 6.2.5.1 Fragebogen für interne Zielorientierungen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird davon ausgegangen, dass der Grad der Übernahme eines external gesetzten Ziels insbesondere von motivationalen Variablen in Form von internalen Zielorientierungen (z.B. Dweck & Leggett, 1988; Elliot, 1999; Nicholls, 1992) abhängt (Kapitel 3.3). Allerdings wurde in der bisherigen Forschung zu Zielorientierungen meist eine Lernzielorientierung einer Leistungszielorientierung gegenübergestellt. Eine Leistungszielorientierung wurde über soziale Vergleiche definiert und beinhaltet als motivational gesteuerte Absicht, gute Leistungen zu demonstrieren beziehungsweise schlechte zu verbergen (Elliot & Harakiewicz, 1996). Deshalb war es notwendig, einen eigenen Fragebogen zu internalen Zielorientierungen zu entwickeln, um der qualitativen Zieldichotomie der vorliegenden Arbeit (Problemlöseziele vs. Lernziele) zu entsprechen (siehe Anhang 6). Somit wird in diesem Fragebogen in erster Linie zwischen internaler Problemlösezielorientierung (z.B. „Aufgaben bearbeite ich, um sie zu lösen und nicht, um mein Wissen zu erweitern“) und internaler Lernzielorientierung unterschieden (z.B.: „Etwas über Aufgaben zu lernen ist mir wichtiger als der Nutzen durch ihre Lösung“).

Der insgesamt aus 26 Items bestehende Fragebogen (Anhang 6) lässt sich in vier unterschiedliche Skalen aufteilen: Für die Skala Problemlösezielorientierung als neues

Konstrukt wurden neun Items konstruiert. Die Skala Lernzielorientierung enthält sechs selbst konstruierte Items und drei Items in Anlehnung an Elliot (1999; Heimbeck, 1999; VandeWalle, 1997). Zu Validierungszwecken dienten zusätzlich vier Items für die Annäherungs-Leistungszielorientierung und vier weitere für die Vermeidungs-Leistungszielorientierung, deren Konstruktion jeweils ebenfalls an Elliot (1999; Heimbeck, 1999; VandeWalle, 1997) angelehnt ist. Dabei wird von einer tendenziellen Konstruktnähe zwischen Problemlösezielorientierung und Leistungszielorientierung ausgegangen, da bei beiden kein Lernen angestrebt wird, sondern das Erreichen von außerhalb der Person liegenden Zuständen respektive von Leistungskriterien, um sich sozial zu vergleichen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird angenommen, dass Lernzielorientierung und Problemlösezielorientierung zwei tendenziell entgegengesetzte Pole einer Dimension darstellen. In Anlehnung an die Dichotomie Lern- versus Leistungszielorientierung (z.B. Dweck, 1986; Dweck & Leggett, 1988) sollten Personen mit einer sehr hohen Lernzielorientierung eine vergleichsweise geringe Problemlösezielorientierung aufweisen und umgekehrt, da Lernprozesse einer Veränderung innerhalb der Person und Problemlöseprozesse einer Veränderung außerhalb der Person dienen (vgl. Klauer, 1988; siehe auch Abschnitt 3.2.2.1).

*Kennwerte.* Die Kennwerte für die zwei neu entwickelten Skalen Lernziel- und Problemlösezielorientierung sind sowohl auf Itemebene (Mittelwerte:  $.69 \geq M \geq .33$ ; Standardabweichungen:  $.30 \geq SD \geq .22$ ; korrigierte Trennschärfen:  $.64 \geq r_{it} \geq .35$ ; Tabelle 11) als auch auf Skalenebene zufriedenstellend (Problemlösezielorientierung:  $M = .46$ ,  $SD = .16$ , Reliabilität als Cronbachs  $\alpha = .80$ ; Lernzielorientierung:  $M = .58$ ,  $SD = .17$ , Cronbachs  $\alpha = .81$ ; vgl. Anmerkungen unter Tabelle 11).

**Tabelle 11:** Item-Kennwerte der zwei Skalen Lernziel- und Problemlösezielorientierung

| Skala Lernzielorientierung* |          |     |     |                          | Skala Problemlösezielorientierung* |          |     |     |                          |
|-----------------------------|----------|-----|-----|--------------------------|------------------------------------|----------|-----|-----|--------------------------|
| Item                        | (FB-Nr.) | M   | SD  | Korrigierte Trennschärfe | Item                               | (FB-Nr.) | M   | SD  | Korrigierte Trennschärfe |
| LZO.1                       | (FB1)    | .63 | .25 | .35                      | PZO.1                              | (FB3)    | .33 | .27 | .43                      |
| LZO.2                       | (FB2)    | .54 | .24 | .45                      | PZO.2                              | (FB6)    | .41 | .28 | .53                      |
| LZO.3                       | (FB5)    | .65 | .26 | .45                      | PZO.3                              | (FB8)    | .65 | .28 | .50                      |
| LZO.4                       | (FB9)    | .69 | .26 | .61                      | PZO.4                              | (FB10)   | .43 | .25 | .47                      |
| LZO.5                       | (FB11)   | .59 | .26 | .53                      | PZO.5                              | (FB15)   | .55 | .24 | .38                      |
| LZO.6                       | (FB12)   | .51 | .30 | .54                      | PZO.6                              | (FB16)   | .38 | .25 | .64                      |
| LZO.7                       | (FB14)   | .58 | .29 | .51                      | PZO.7                              | (FB22)   | .43 | .22 | .52                      |
| LZO.8                       | (FB18)   | .55 | .25 | .46                      | PZO.8                              | (FB24)   | .41 | .26 | .61                      |
| LZO.9                       | (FB21)   | .59 | .26 | .58                      |                                    |          |     |     |                          |

*Anmerkungen:* LZO = Lernzielorientierung; FB-Nr. = Nummer des Items im Fragebogen; PZO = Problemlösezielorientierung; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung. Alle Angaben sind auf den Wertebereich 0-1 normiert. \* Diese beiden einzelnen Skalen wurden in eine Gesamtskala transformiert (siehe folgende Seite) und werden daher nicht mehr separat in den Tabellen 17 und 18 auf S. 127 und 128 aufgeführt.



*Hinweise auf Konstruktvalidität der Skalen.* Eine hohe Problemlösezielorientierung geht erwartungsgemäß tendenziell mit einer eher geringen Posttestleistung ( $r = -.19, p = .004$ ) und einem geringen Wissenszuwachs ( $r = -.22, p = .001$ ) einher und zeigt einen erwarteten hoch negativen Zusammenhang mit einer hohen Lernzielorientierung ( $r = -.62, p < .001$ ). Es wurde eine tendenzielle Konstruktnähe der Problemlösezielorientierung zu den beiden Polen der Leistungszielorientierung angenommen (Annäherungs-Leistungszielorientierung und Vermeidungs-Leistungszielorientierung; Elliot und Harakiewicz, 1996; Elliot, 1999) angenommen: Die Tendenz bei einer Problemlösezielorientierung, bei der Bearbeitung von Aufgaben oder Problemen die Lösung als Ergebnis außerhalb der Person anzustreben, kann auch als extern sichtbares Leistungskriterium betrachtet werden. Die Korrelationen zwischen diesen Konstrukten unterstützen die Annahme: Die Skalen Annäherungs-Leistungszielorientierung und Vermeidungs-Leistungszielorientierung korrelieren mit  $r = .22$  ( $p = .001$ ) beziehungsweise  $r = .34$  ( $p < .001$ ) signifikant positiv mit der Skala der Problemlösezielorientierung und unbedeutend beziehungsweise schwach negativ mit der Skala der Lernzielorientierung ( $r = .01, p = .895$ ;  $r = -.16, p = .014$ ; vgl. Kapitel 2.4.1). Zudem ging die Skala Lernzielorientierung als motivationale Variable erwartungsgemäß mit einer hohen aktuellen Motivation ( $r = .32, p < .001$ ) und einem hohen Interesse ( $r = .32, p < .001$ ) einher. Eine hohe Problemlösezielorientierung hingegen weist sogar eine schwach negative Beziehung zum Interesse auf ( $r = -.19, p = .005$ ).

*Gesamtskala für das Ausmaß an Lernzielorientierung.* Um für weitere Analysen der vorliegenden Arbeit eine Gesamtskala für das Ausmaß an Lernzielorientierung zu erzeugen, wurden die zwei separaten Skalen Problemlöseziel- und Lernzielorientierung ( $r = -.62, p < .001$ ) vereinfachend zusammengefasst: Die Items der Skala Problemlösezielorientierung wurden so invertiert, dass eine hohe Itemausprägung einer hohen Lernzielorientierung entspricht. Die Kennwerte dieser Gesamtskala sind ebenfalls auf Item- und Skalenebene zufriedenstellend. Itemebene:  $.67 \geq M \geq .35$ ;  $.30 \geq SD \geq .23$ ;  $.66 \geq r_{it} \geq .31$  (Tabelle 12, S. 120). Skalenebene:  $M = .46$ ,  $SD = .16$ , Cronbachs  $\alpha = .80$  (Tabelle 17, S. 127). Die Korrelation dieser Gesamtskala für das Ausmaß an Lernzielorientierung mit Annäherungs-Leistungszielorientierung ist ebenfalls unbedeutend ( $r = -.09, p = .175$ ) und mit der Vermeidungs-Leistungszielorientierung signifikant negativ ( $r = -.28, p < .001$ ). Eine hohe Lernzielorientierung (Gesamtskala) ging als motivationale Variable tendenziell mit hoher aktueller Motivation und hohem Interesse einher ( $r = .24, r = .28; p < .001$ ).

Insgesamt ist dieses erwartete, wenn auch relativ schwache Korrelationsmuster, ein erster Hinweis auf die Konstruktvalidität des im Zuge dieser Arbeit entwickelten Fragebogens für Zielorientierungen. Für die Gesamtskala der Lernzielorientierung wurde in einer Strukturgleichungsanalyse die Anpassung dieser Modellannahme an die empirischen

Daten geprüft (vgl. Kapitel 5.3.2), wozu im Sinne einer Reduktion der Modellkomplexität die Items der Gesamtskala gemäß ihrer Mittelwerte und Standardabweichungen zu vier ähnlichen parcels zusammengefasst wurden (vgl. S. 95). Die Gesamtskala repräsentiert als ein Faktor die empirische Datenstruktur akzeptabel ( $\chi^2(2) = 4.07$ ,  $p = .131$ ;  $TLI = .97$ ;  $RMSEA = .06$ ;  $CFI = .99$ ; Abbildung 15).

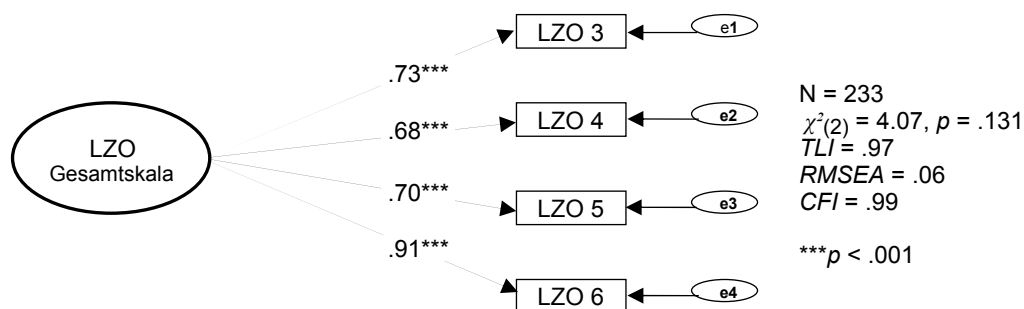


Abbildung 15: Ladungen der Itemparcels auf die Gesamtskala für Lernzielorientierung

Tabelle 12: Item-Kennwerte für die Gesamtskala Lernzielorientierung

| Item      | (FB-Nr.) | Ursprüngliche Skala | M   | SD  | Korrigierte Trennschärfe |
|-----------|----------|---------------------|-----|-----|--------------------------|
| LZO.1_GS  | (FB1)    | LZO                 | .63 | .27 | .31                      |
| LZO.2_GS  | (FB2)    | LZO                 | .54 | .24 | .47                      |
| LZO.3_GS  | (FB5)    | LZO                 | .67 | .27 | .44                      |
| LZO.4_GS  | (FB9)    | LZO                 | .65 | .26 | .44                      |
| LZO.5_GS  | (FB11)   | LZO                 | .59 | .28 | .56                      |
| LZO.6_GS  | (FB12)   | LZO                 | .35 | .28 | .49                      |
| LZO.7_GS  | (FB14)   | LZO                 | .69 | .27 | .63                      |
| LZO.8_GS  | (FB18)   | LZO                 | .56 | .25 | .47                      |
| LZO.9_GS  | (FB21)   | LZO                 | .59 | .25 | .51                      |
| LZO.10_GS | (FB3)    | PZO                 | .50 | .30 | .53                      |
| LZO.11_GS | (FB6)    | PZO                 | .58 | .29 | .49                      |
| LZO.12_GS | (FB8)    | PZO                 | .45 | .24 | .34                      |
| LZO.13_GS | (FB10)   | PZO                 | .62 | .25 | .66                      |
| LZO.14_GS | (FB15)   | PZO                 | .58 | .25 | .46                      |
| LZO.15_GS | (FB16)   | PZO                 | .59 | .26 | .61                      |
| LZO.16_GS | (FB22)   | PZO                 | .57 | .23 | .49                      |
| LZO.17_GS | (FB24)   | PZO                 | .58 | .26 | .57                      |

Anmerkungen: LZO = Lernzielorientierung; GS = Gesamtskala. Alle Angaben sind auf den Wertebereich 0-1 normiert. FB-Nr. = Nummer des Items im Fragebogen; LZO = Lernzielorientierung; PZO = Problemlösezielorientierung (für die Gesamtskala invertiert)

### 6.2.5.2 Konstruktion des Fragebogens zur Messung des cognitive loads

Paas und van Merriënboer (1994b; vgl. Paas, Tuovinen, Tabbers & Van Gerven, 2003) beschreiben den *cognitive load* als multidimensionales Konstrukt, bestehend aus Ursachenfaktoren (*causal factors*) und Beurteilungs- oder Einschätzungsfaktoren

(*assessment factors*). Faktoren für die „Ursache“ des *cognitive load* umfassen Personen- und Aufgabenmerkmale sowie deren Interaktion. Als Maß für die Beurteilung gilt die aufgabenspezifische Anforderung an kognitionsspezifische Kapazitäten (*mental load*), welche durch kontrollierte und automatische Prozesse (Schneider & Shiffrin, 1977) zu einer tatsächlich vom Lerner investierten kognitiven Kapazität führt (*mental effort*), die als „Essenz“ für die Mesung des *cognitive load* gilt. Die Aufgabenleistung (*performance*) führen Paas und Mitarbeiter als dritten Beurteilungsfaktor für den *cognitive load* auf.

*Mental effort* als zentrales Maß kann aus dynamischer Perspektive (*cognitive load* fluktuiert permanent während der Aufgabenbearbeitung), aus formativer Perspektive (mehrere Einzelmessungen während einer Aufgabenbearbeitung) und aus summativer Perspektive (intro- und retrospektive Gesamteinschätzung) betrachtet werden. Um nicht nur den *cognitive load* an sich, sondern auch die mentale Effizienz instruktionaler Bedingungen beurteilen zu können, entwickelten Paas und van Merriënboer (1993; vgl. Paas, Tuovinen, Tabbers & Van Gerven, 2003; Salden, Paas, Broers & van Merriënboer, 2004) ein Maß für das Verhältnis von Leistung und mentaler Anstrengung (*mental efficiency* oder *condition efficiency*), in das aktuell auch die Motivation als dritte Variable Eingang findet (z.B. Paas et al., 2005).

Methoden wie analytische Einschätzungen aufgabenspezifischer Anforderungen durch Expertenratings, die Bestimmung korrekter Aufgabenantworten als Reflektion des *cognitive load* (*primary task technique*; Yeung, Yin & Sweller, 1997; Baddeley, 1986) und psychophysiologische Techniken (Herz-, Hirn-, oder Pupillenaktivitätsmessungen; Paas & Van Merriënboer, 1994b) haben sich aufgrund geringer Validität oder zu hohem Implementationsaufwand für größere Stichproben bis heute nur selten durchgesetzt. Bei der *dual task-Methode* (*dual task-technique* oder *secondary task-technique*; Baddeley et al., 2001; Brünken et al., 2003, 2004; Brünken, Steinbacher, Plass & Leutner, 2002) wird in einer computerbasierten Lernumgebung die Reaktionszeit gemessen, die eine Person benötigt, um während einer primär zu bearbeitenden Aufgabe (*primary task*) auf ein in unregelmäßigen Zeitabständen erscheinendes Signal einer *secondary task* (*monitoring-Aufgabe*) zu reagieren (vgl. Verwey & Veltman, 1996), was nach Brünken et al. (2003) als objektive und direkte Messung des *cognitive load* gilt.

Viele frühere Instrumente zur Messung des *cognitive load* stammen aus der Ergonomieforschung, in der nicht nur kognitive, sondern auch psychophysiologische Belastungen von arbeitsplatzbezogenen Tätigkeiten, meist mit Fragebogenmethoden, untersucht wurden (z.B. Eggemeier, 1981; Hart & Staveland, 1988; Reid & Nygren, 1988). In diesen Arbeiten wird häufig der Begriff *workload* verwendet, der nach Braarud (2001) eine breit angelegte Bedeutung hat (je nach Untersuchungszweck), aber sich meist auf die Anstrengung bezieht, die Personen in aufgabenbezogene Leistungen investieren. Braarud (2001), Rubio, Diaz, Martin und Puente (2004) sowie Tsang und

Velazquez (1996) zeigten in ihren Evaluationsstudien, dass subjektive Fragebogenmethoden den *subjective workload* hinsichtlich aufgabenbezogener Leistungen den Gütekriterien Sensitivität (differenzieren zwischen komplexen und einfachen Aufgaben), Diagnostizität (differenzieren zwischen qualitativ unterschiedlichen Anforderungsarten), Reliabilität, Validität, Aufdringlichkeit, Implementationsaufwand und Probandenakzeptanz durchaus genügen können.

In der Instruktionspsychologie sind Fragebögen (die sich teilweise an denen aus der Ergonomieforschung anlehnen) aktuell eine verbreitete Messmethode für den *cognitive load* (*subjective rating scales* oder *subjective measures*; z.B. Ayres, 2006, in press; Gerjets, Scheiter & Catrambone, 2004, 2006; Kalyuga, 2006; Moreno & Valdez, 2005; Paas, 1993; Paas & van Merriënboer, 1993; Paas, Renkl & Sweller, 2003; Salden et al., 2004; Seufert & Brünken, 2006). Die Subjektivität ist zwar ein hervorstechender Nachteil dieser Methode gegenüber der Objektivität der dual-task-Methode, was aber zum einen durch einen vergleichsweise geringen Implementationsaufwand ausgeglichen wird. Zum anderen haben sich Fragebogenmethoden in vielen Studien (z.B. Rubio et al., 2004) als messgenaue und sensitive (vgl. oben) Messinstrumente bewährt. Die Methode legitimiert sich zudem über die vielfach geteilte Annahme, dass Personen über die Fähigkeit der Introspektion eigener kognitiver Prozesse verfügen (z.B. Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003) und die von ihnen investierte Intensität kognitiver Anstrengung auf einer numerischen Skala einschätzen können (z.B. Gopher & Braune, 1984).

*Messung des cognitive load in der vorliegenden Arbeit.* Zum einen aus den oben genannten Gründen, zum anderen aus zeitlichen und testökonomischen Gründen wurde statt einer dual-task-Methode ein subjektives Fragebogenverfahren (Anhang 7) entwickelt. Neben der Ökonomie besteht ein weiterer Vorteil dieser Messmethode in der Möglichkeit, unterschiedliche Anforderungsarten einer Aufgabe durch bestimmte Itemformulierungen thematisieren zu können. Für die Untersuchung der Fragestellung, wie sich die unterschiedlichen externalen Zielvorgaben in der verwendeten Experimentierumgebung auf den *cognitive load* auswirken, wurden sowohl zielvorgabenspezifische als auch für die Experimentierumgebung spezifische Anforderungen des Arbeitsgedächtnisses (Kapitel 3.4.1) bei der Itemkonstruktion berücksichtigt. Beispielsweise sollten spezifische Problemlöseziele nach Sweller über die Tendenz zur Anwendung der Mittel-Ziel-Analyse insbesondere simultane Anforderungen beinhalten (Kapitel 3.4.3). Die Experimentierumgebung der vorliegenden Arbeit stellt sowohl räumlich-visuelle als auch einfache arithmetische Anforderungen, da in ihr Zusammenhänge zwischen Parametern sowohl visuell-räumlich als auch numerisch erfassbar sind (Kapitel 5.2.1).

Das für die vorliegende Arbeit entwickelte Instrument besteht aus zwei eigenen, sechs an die Konzeptionen von Braarud (2001), Hart und Staveland (1988) sowie Tsang

und Velazquez (1996) und drei an Paas (1993) angelehnte<sup>14</sup> Items im siebenstufigen Likertskalenformat. Die Kennwerte sind auf Itemebene (Mittelwerte:  $.64 \geq M \geq .38$ ; Standardabweichungen:  $.36 \geq SD \geq .24$ ; korrigierte Trennschärfen:  $.65 \geq r_{it} \geq .50$ ; siehe Tabelle 13) und auf Skalenebene ( $M = .52$ ,  $SD = .20$ , Cronbachs  $\alpha = .88$ ; Tabelle 17, S. 127) zufriedenstellend, so dass kein Item ausgeschlossen werden musste.

**Tabelle 13:** Item-Kennwerte für die *cognitive load*-Skala

| Item  | <i>M</i> | <i>SD</i> | Korrigierte<br>Trennschärfe |
|-------|----------|-----------|-----------------------------|
| CL.1  | .58      | .29       | .53                         |
| CL.2  | .58      | .30       | .65                         |
| CL.3  | .55      | .31       | .60                         |
| CL.4  | .64      | .27       | .58                         |
| CL.5  | .38      | .36       | .52                         |
| CL.6  | .49      | .24       | .65                         |
| CL.7  | .64      | .30       | .61                         |
| CL.8  | .54      | .32       | .65                         |
| CL.9  | .41      | .29       | .57                         |
| CL.10 | .49      | .28       | .62                         |
| CL.11 | .38      | .33       | .50                         |

*Anmerkungen:* CL = *cognitive load* (Item-Nummern wie im Fragebogen). Alle Angaben sind auf den Wertebereich 0-1 normiert.

### 6.2.5.3 Wissenstests

*Deklarativ-konzeptuelle Wissenstests.* Für die vorliegende Studie wurden die deklarativ-konzeptuellen Wissenstests zum Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ aus der korrelativen Studie (Kapitel 5) an die Relationen (Anhang 5) adaptiert, die durch die externalen Zielvorgaben (Anhang 4a-d) repräsentiert werden. Prä- und Posttestversion wurden in der experimentellen Studie identisch gehalten und unter Beibehaltung des multiple choice-Formats in den Computer implementiert (siehe Anhang 8b).

Eine Reliabilitätsanalyse hinsichtlich interner Konsistenz (Cronbachs Alpha) führte zu zwei weiterhin identischen Versionen, in denen jeweils dieselben 13 von 17 Items verblieben (Items 1-6 und Items 11-17). Dabei erweisen sich für die Prätestversion die Kennwerte auf Itemebene als eher schwach bis moderat, wobei zum Beispiel mehr Items mit hoher als mit geringer Lösungswahrscheinlichkeit vorliegen (Mittelwerte:  $.89 \geq M \geq .27$ ; Standardabweichungen:  $.50 \geq SD \geq .31$ ; korrigierte Trennschärfen:  $.39 \geq r_{it} \geq .11$ ; Tabelle 14). Die Kennwerte auf Skalenebene zeigen ein relativ hohes Vorwissen, aber

<sup>14</sup> Für die sprachliche Adaption der angelehnten Items wurde das *backtranslation*-Verfahren durchgeführt (Van de Vijver & Hambleton, 1996).

auch eine noch akzeptable Reliabilität ( $M = .63$ ,  $SD = .17$ , Cronbachs  $\alpha = .60$ ; Tabelle 17, S. 127). Für die Posttestversion zeigt sich eine Verbesserung der Kennwerte sowohl auf Itemebene (Mittelwerte:  $.83 \geq M \geq .25$ ; Standardabweichungen:  $.50 \geq SD \geq .38$ ; korrigierte Trennschärfen:  $.56 \geq r_{it} \geq .23$ ; Tabelle 15) als auch auf Skalenebene ( $M = .62$ ,  $SD = .23$ , Cronbachs  $\alpha = .76$ ; siehe Tabelle 17, S. 127).

**Tabelle 14:** Item-Kennwerte für den Wissens-Prätest (experimentelle Studie)

| Item     | <i>M</i> | <i>SD</i> | Korrigierte<br>Trennschärfe | Itemnummer<br>im Test |
|----------|----------|-----------|-----------------------------|-----------------------|
| WT Prä1  | .79      | .41       | .29                         | 1                     |
| WT Prä2  | .78      | .42       | .31                         | 2                     |
| WT Prä3  | .69      | .46       | .34                         | 3                     |
| WT Prä4  | .82      | .38       | .20                         | 4                     |
| WT Prä5  | .35      | .48       | .20                         | 5                     |
| WT Prä6  | .29      | .46       | .14                         | 6                     |
| WT Prä7  | .27      | .45       | .17                         | 11                    |
| WT Prä8  | .44      | .50       | .27                         | 12                    |
| WT Prä9  | .82      | .38       | .28                         | 13                    |
| WT Prä10 | .89      | .31       | .29                         | 14                    |
| WT Prä11 | .41      | .49       | .11                         | 15                    |
| WT Prä12 | .89      | .32       | .33                         | 16                    |
| WT Prä13 | .78      | .42       | .39                         | 17                    |

*Anmerkungen:* WT = Wissenstest (Version Prätest). Alle Angaben sind auf den Wertebereich 0-1 normiert.

**Tabelle 15:** Item-Kennwerte für den Wissens-Posttest (experimentelle Studie)

| Item       | <i>M</i> | <i>SD</i> | Korrigierte<br>Trennschärfe | Itemnummer<br>im Test |
|------------|----------|-----------|-----------------------------|-----------------------|
| WT Post1   | .75      | .43       | .43                         | 1                     |
| WT Post2   | .77      | .42       | .32                         | 2                     |
| WT Post 3  | .68      | .47       | .37                         | 3                     |
| WT Post 4  | .74      | .44       | .40                         | 4                     |
| WT Post 5  | .56      | .50       | .26                         | 5                     |
| WT Post 6  | .40      | .49       | .29                         | 6                     |
| WT Post 7  | .25      | .44       | .23                         | 11                    |
| WT Post 8  | .46      | .50       | .47                         | 12                    |
| WT Post 9  | .66      | .48       | .56                         | 13                    |
| WT Post 10 | .77      | .42       | .49                         | 14                    |
| WT Post 11 | .53      | .50       | .42                         | 15                    |
| WT Post 12 | .83      | .38       | .38                         | 16                    |
| WT Post 13 | .71      | .46       | .44                         | 17                    |

*Anmerkungen:* WT = Wissenstest (Version Posttest). Alle Angaben sind auf den Wertebereich 0-1 normiert.

Über alle Probanden der Stichprobe hinweg fällt der Zugewinn an Wissen als einfache, nicht vorwissensbereinigte Differenz von Prätest- und Posttestleistung (normiert auf den Wertebereich 0-1) nicht signifikant negativ aus ( $\Delta = -.01$ ,  $t_{(230)} = .59$ ,  $p = .558$ ). Da für beide Wissenstests pro Aufgabe nur drei Antwortalternativen vorlagen, betrug die zufällige Trefferwahrscheinlichkeit richtiger Antworten 33%. Eine vorgenommene Ratekorrektur (Lienert & Raatz, 1994) für die Tests (Prä- und Post) erbrachte jedoch keine nennenswerte Verbesserung im Zugewinn an Wissen. Dennoch wird im Ergebnisteil unter Fragestellung 7 in dieser Studie zu zeigen sein, dass dieser Zugewinn an Wissen unter entsprechender Berücksichtigung des Vorwissens, der Zielvorgabenart und der Höhe der Lernzielorientierung signifikant positiv und mit zufriedenstellender Effektstärke ausfällt. Überdies intendierte die Konstruktion der externalen Zielvorgaben nicht, Lernerfolge zu maximieren (vgl. Kapitel 6.2.2), sondern unter kontrollierten experimentellen Bedingungen generelle Unterschiede in der Wirkung dieser Zielarten auf den Erfolg, den *cognitive load* und die Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren zu prüfen (vgl. Kapitel 6.2.2). Zudem musste sich die Untersuchung auf eine Momentaufnahme der Leistung beschränken (20 Minuten), und der deklarativ-konzeptuelle Posttest wurde gegen Ende der Untersuchung bearbeitet, so dass Testmüdigkeitseffekte und motivationale Schwankungen nicht auszuschließen sind. Dies lässt sich nicht prüfen, da aus Gründen der Testbelastung die aktuelle Motivation nur vor Beginn der Explorationsphase gemessen wurde.

*Wissensanwendungs- und transfertest.* Der aus 15 Problemlöseaufgaben (Anhang 12) bestehende computerbasierte Wissensanwendungstest aus der korrelativen Studie wurde, funktional und grafisch optimiert, auch in der experimentellen Studie eingesetzt (Abbildung 16), um die Fähigkeit zu überprüfen, erworbenes Wissen für das Herstellen situationaler Zustände zu nutzen. Da den ersten fünf Problemlöseaufgaben eine Art „Eisbrecherfunktion“ zukam und sie einfache Handlungsaufforderungen zur Bedienung der Module des simulierten Labors beinhalteten, wurden sie aus weiteren Analysen ausgeschlossen. Die Kennwerte für diese reduzierte Skala sind auf Item- und Skalenebene zufriedenstellend (Tabelle 16, S. 126; Tabelle 17, S. 127).

Tabelle 16: Item-Kennwerte für den Wissensanwendungstest (experimentelle Studie)

| Item   | M   | SD  | Korrigierte Trennschärfe | Itemnummer im Test |
|--------|-----|-----|--------------------------|--------------------|
| WAT 1  | .79 | .41 | .44                      | 6                  |
| WAT 2  | .70 | .46 | .50                      | 7                  |
| WAT 3  | .80 | .40 | .45                      | 8                  |
| WAT 4  | .34 | .48 | .48                      | 9                  |
| WAT 5  | .29 | .46 | .45                      | 10                 |
| WAT 6  | .59 | .49 | .62                      | 11                 |
| WAT 7  | .53 | .50 | .58                      | 12                 |
| WAT 8  | .24 | .43 | .51                      | 13                 |
| WAT 9  | .26 | .44 | .55                      | 14                 |
| WAT 10 | .38 | .49 | .45                      | 15                 |

Anmerkungen: WAT = Wissensanwendungstest. Alle Angaben sind auf den Wertebereich 0-1 normiert.

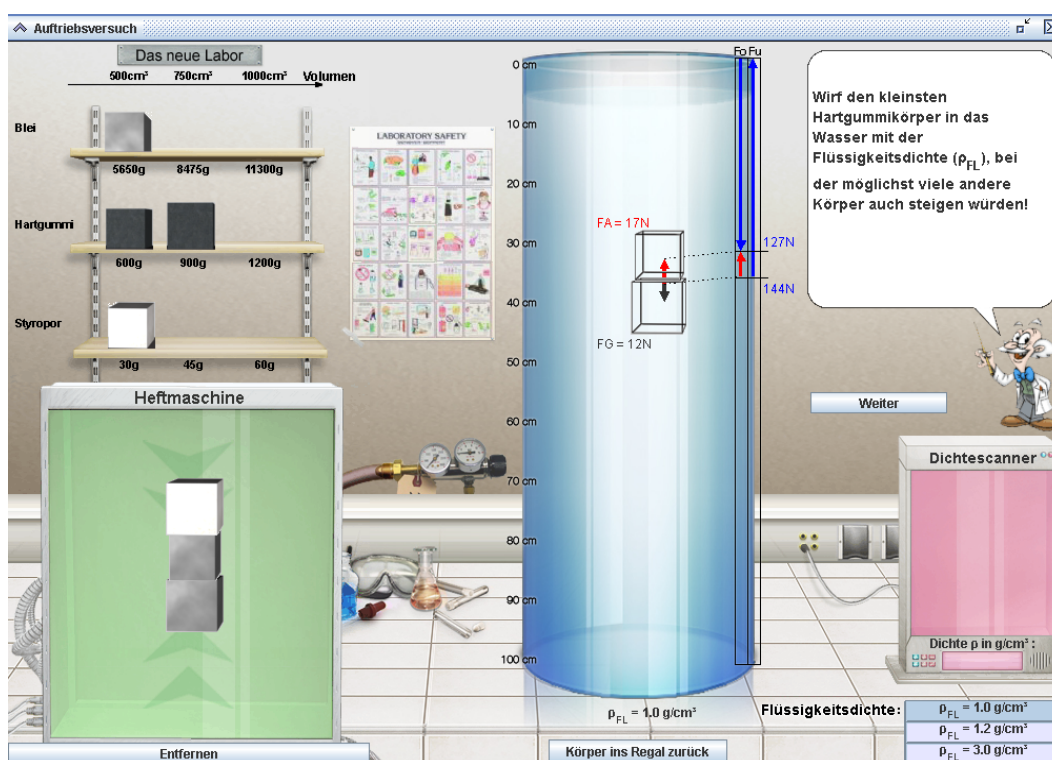


Abbildung 16: Screenshot des optimierten Wissensanwendungstests der experimentellen Studie.

#### 6.2.5.4 Weitere eingesetzte Instrumente

*IVK-between-Strategienutzung.* Die relative Nutzungshäufigkeit der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle (Typ: IVK-between) wurde in der experimentellen Studie genauso operationalisiert und gemessen wie in der korrelativen Studie: Als Anteil gemäß IVK-between durchgeführter Experimentepaare an allen durchgeführten Experimenten (vgl. Abschnitt 5.2.3.1). Es wurden wieder drei zeitunabhängige Messungen des IVK-



between-Anteils durchgeführt, auf deren Basis die Reliabilität als interne Konsistenz bestimmt werden konnte. Über die gesamte Stichprobe hinweg zeigt sich eine geringe Nutzungshäufigkeit für diese Experimentierstrategie ( $M = .24$ ,  $SD = .10$ ; Tabelle 17).

*Intelligenz, Motivation, demografische Daten und Interesse.* Alle drei Konstrukte wurden mit denselben Instrumenten erhoben, die auch schon in der Evaluationsstudie verwendet wurden. Dabei wurde der vormals papier-bleistift-basierte Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM; Rheinberg et al., 2001) in die computerbasierte Experimentierumgebung implementiert, während die Skala „Figurale Analogien“ aus dem Kognitive Fähigkeiten-Test (KFT; Heller et al., 1985), die demografischen Daten und das Interesse am Unterrichtsfach Physik (Baumert et al., 1986) weiterhin papier-bleistift-basiert erfasst wurden. Die Skalenkennwerte der drei Konstrukte, Intelligenz, Motivation und Interesse sind zufriedenstellend (Tabelle 17). Der hohe Mittelwert für die Intelligenz ( $M = .75$ ) deutet auf einen Deckeneffekt und somit auf eine hohe Testintelligenz der Gesamtstichprobe hinsichtlich der eingesetzten Skala hin.

**Tabelle 17:** Mittelwerte, Standardabweichungen und Reliabilitäten der Skalen

|  | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>SE</i> | <i>Cronbachs α</i> |
|--|----------|-----------|-----------|--------------------|
| Deklarativ-konzeptuelles Wissen (Prätest)  | .63      | .17       | .01       | .60                |
| Deklarativ-konzeptuelles Wissen (Posttest) | .62      | .23       | .02       | .76                |
| Wissensanwendung                           | .49      | .28       | .02       | .87                |
| IVK-Strategienutzung                       | .24      | .10       | .01       | .60                |
| Intelligenz (KFT)                          | .75      | .15       | .01       | .71                |
| Cognitive load                             | .52      | .20       | .01       | .88                |
| Interesse am Unterrichtsfach Physik        | .46      | .26       | .02       | .90                |
| Motivation (FAM)                           | .54      | .23       | .01       | .88                |
| Gesamtskala Lernzielorientierung*          | .57      | .15       | .01       | .87                |
| Annäherungs-Leistungszielorientierung      | .52      | .23       | .02       | .74                |
| Vermeidungs-Leistungszielorientierung      | .42      | .21       | .01       | .68                |

*Anmerkungen:* *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung; *SE* = Standardfehler. Alle Angaben sind auf den Wertebereich 0-1 normiert. \* vgl. S.118 und S. 119.

## 6.2.6 Korrelative Zusammenhänge

Die korrelative Struktur (Pearson-Korrelationen) der erhobenen Variablen (siehe Tabelle 18) ist weitgehend erwartungsgemäß und liefert erste Hinweise auf die Konstruktvalidität der entwickelten Instrumente. Der Zusammenhang zwischen deklarativ-konzeptuellem Vorwissen und deklarativ-konzeptuellem Wissen zum Posttestzeitpunkt ist bedeutsam ( $r = .43$ ,  $p < .001$ ) und sowohl Schüler, die mit hohem deklarativ-konzeptuellem Wissen in die Untersuchung eingingen, als auch solche mit hohem Wissen zum Posttestzeitpunkt zeigten im Wissensanwendungstest eine tendenziell gute Leistung ( $r = .37$ ,  $r = .34$ ;  $p < .001$ ). Einem hohen deklarativ-konzeptuellem Wissen im Posttest und einer hohen Leistung im Wissensanwendungstest ging tendenziell eine häufige Strategienutzung

voraus ( $r = .29, p < .001$ ;  $r = .20; p = .018$ ), sowie auch der vorwissensbereinigte Wissenszuwachs<sup>15</sup> höher war, wenn die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle häufiger genutzt wurde ( $r = .24, p = .005$ ). Je geringer die Schüler ihren *cognitive load* unmittelbar nach der Explorationsphase einschätzten, desto mehr Experimente insgesamt (systematische *und* unsystematische) haben sie tendenziell vorher in der Explorationsphase durchgeführt ( $r = -.20, p = .019$ ) und desto höher war ihre abschließende Leistung im Wissensanwendungstest ( $r = -.28, p = .001$ ). Das Ausmaß deklarativ-konzeptuellen Vorwissens hängt zwar erwartungsgemäß signifikant negativ, aber nur sehr schwach mit dem Ausmaß an später investiertem *cognitive load* zusammen ( $r = -.14, p = .037$ ). Ein einfaches Strukturmodell, in dem nur der Pfad vom Vorwissen auf den *cognitive load* definiert wird, zeigt mit hoher Modellgüte ( $\chi^2(4) = 1.57, p = .822$ ;  $TLI = 1.04$ ;  $RMSEA = .00$ ;  $CFI = 1.00$ ) eine statistisch bedeutsam negative, aber schwache Prädiktion des *cognitive load* durch das Vorwissen ( $\beta = -.21, p = .010$ ). Das Ausmaß an Lernzielorientierung (Abschnitt 6.2.5.1) korreliert signifikant mit dem Wissenszuwachs ( $r = .20, p = .002$ ), nicht jedoch mit Vorwissen ( $r = .00$ ).

**Tabelle 18:** Korrelationsmatrix aller Variablen in der Gesamtstichprobe (N = 233)\*

|                                    | 1.    | 2.     | 3.    | 4.     | 5.    | 6.    | 7.     | 8.     | 9.    | 10.    | 11. | 12.   |
|------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-----|-------|
| 1. D.-k. Wissen Prätest            |       |        |       |        |       |       |        |        |       |        |     |       |
| 2. D.-k. Wissen Posttest           | .43** |        |       |        |       |       |        |        |       |        |     |       |
| 3. Wissenszuwachs (res.)           | -.01  | .90**  |       |        |       |       |        |        |       |        |     |       |
| 4. Wissensanwendung                | .37** | .34**  | .19*  |        |       |       |        |        |       |        |     |       |
| 5. Strategienutzung                | .18*  | .29**  | .24** | .20*   |       |       |        |        |       |        |     |       |
| 6. Anzahl <i>aller</i> Experimente | -.05  | -.08   | -.07  | .07    | .02   |       |        |        |       |        |     |       |
| 7. Cognitive load                  | -.14* | -.13   | -.08  | -.28** | -.17* | -.20* |        |        |       |        |     |       |
| 8. Lernzielorientierung (ges.)     | .00   | .18**  | .20** | .06    | -.07  | .12   | -.10   |        |       |        |     |       |
| 9. Annäher. Leist.zorient.         | -.06  | -.03   | .00   | -.08   | .03   | .15   | -.07   | -.09   |       |        |     |       |
| 10. Vermeid. Leist.zorient.        | -.19* | -.21** | -.13* | -.11   | .03   | -.06  | .07    | -.28** | .28** |        |     |       |
| 11. Intelligenz                    | .26** | .34**  | .24** | .20*   | .09   | -.01  | -.18** | -.01   | -.04  | -.15   |     |       |
| 12. Motivation                     | .25** | .29**  | .19** | .33**  | .18*  | -.04  | .03    | .24**  | -.01  | -.19** | .02 |       |
| 13. Interesse                      | .05   | .11    | .11   | .23**  | .03   | -.03  | -.10   | .28**  | .09   | -.12   | .04 | .32** |

\* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$

**Anmerkungen:** D.-k. Wissen = deklarativ-konzeptuelles Wissen; Wissenszuwachs (res.) = residualer Lernerfolg (vgl. Kapitel 5.3.1); Lernzielorientierung (ges.) = Gesamtskala Lernzielorientierung; Annäher. Leist.zorient = Annäherungs-Leistungszielorientierung; Vermeid. Leist.zorient = Vermeidungs-Leistungszielorientierung. \* Aufgrund unumgehbarer *technischer Probleme mit Sicherheitssystemen* von Schulrechnern bei der Datenerhebung liegt für die logfilebasierten Maße eine geringere Stichprobengröße von N = 156 (Strategienutzung) bzw. N = 143 (Wissensanwendung) vor. Dadurch können sich gleichgroße Korrelationen im Signifikanzniveau unterscheiden.

<sup>15</sup> Der Wissenszuwachs ist auch in dieser Studie der regressionsanalytisch ermittelte vorwissensbereinigte deklarativ-konzeptuelle Wissenszuwachs im Sinne eines residualen Lernerfolgs. Dieser residuale Lernerfolg ist im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit stets auch dann gemeint, wenn lediglich der Begriff Wissenszuwachs verwendet wird. Wenn hingegen von Wissenszuwachs im Sinne der einfachen, nicht vorwissensbereinigten Differenz zwischen Prä- und Posttest die Rede ist, so wird dies kenntlich gemacht.

Schüler mit höherer Testintelligenz in der Subskala figurale Analogien aus dem KFT, die induktives Denken erfordert, gingen mit etwas mehr deklarativ-konzeptuellem Vorwissen in die Untersuchung ein ( $r = .26, p < .001$ ), wiesen zum Posttestzeitpunkt mehr deklarativ-konzeptuelles Wissen auf ( $r = .34, p < .001$ ), verzeichneten einen höheren deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs ( $r = .24, p < .001$ ) und wendeten abschließend dieses Wissen tendenziell besser an ( $r = .20, p = .016$ ).

Eine Strukturgleichungsanalyse diente schließlich zum einen zur Überprüfung, ob auch in der Stichprobe der vorliegenden experimentellen Studie die Strategienutzung den Wissenszuwachs und die Leistung im Wissensanwendungstest bedeutsam vorhersagt. Zum anderen war von Interesse, ob das Ausmaß der Lernzielorientierung neben der Nutzung der Lernstrategie der isolierenden Variablenkontrolle den Lernerfolg signifikant vorhersagen kann. Dabei wurden in das Strukturmodell (Abbildung 17) keine weiteren Variablen einbezogen, um ein vertretbares Verhältnis von Parameteranzahl und Stichprobengröße einzuhalten (vgl. Kapitel 5.3.2; beispielsweise liegen für die exogene Variable Lernzielorientierung 233 Fälle, aber für die endogene Variable der Wissensanwendung nur 143 Fälle vor; siehe die Anmerkungen zu Tabelle 18). Abbildung 17 zeigt, dass sich die Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle auch in der vorliegenden Stichprobe als bedeutsamer Prädiktor für den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren erweist ( $\beta = .46, p < .001$ ). Einer guten Leistung im abschließenden Wissensanwendungstest gehen jedoch nur tendenziell eine häufige Strategienutzung und ein hoher Wissenszuwachs voraus ( $\beta = .22, p = .105$ ;  $\beta = .18, p = .148$ ). Das Ausmaß an Lernzielorientierung sagt den Wissenszuwachs signifikant vorher ( $\beta = .25, p = .005$ ), aber nicht die Wissensanwendung ( $\beta = .02, p = .829$ ).

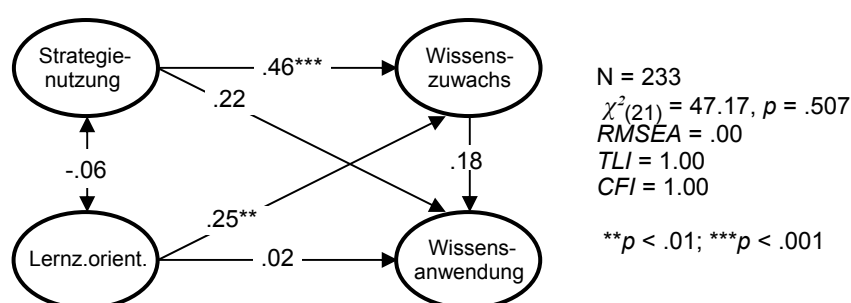


Abbildung 17: Strategienutzung und Lernzielorientierung als Prädiktoren für Lernerfolg

### 6.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der statistischen Analysen zu den Fragestellungen 1-7 zuerst als allgemeiner Überblick berichtet. Vorab wurden die Homogenität der vier Experimentalgruppen in den Eingangsvariablen sowie Geschlechtseffekte überprüft.

Anschließend werden in den Kapiteln 6.3.1 bis 6.3.4 die Befunde zu den konkreten Hypothesen präsentiert.

*Homogenität in den Eingangsvariablen.* Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit den vier Arten von Zielvorgaben als Faktorstufen zeigt mit einem nicht signifikanten Haupteffekt, dass sich die vier Experimentalgruppen (Kapitel 6.2.3) nicht bedeutsam in den Eingangsvariablen Vorwissen, Lernzielorientierung, Interesse, Motivation und Intelligenz unterscheiden ( $F_{(3, 229)} = 1.80$  bis  $F_{(3, 227)} = .19$ ;  $.147 \leq p \leq .904$ ).<sup>16</sup>

*Geschlechtseffekte.* T-Tests zeigen, dass keine statistisch bedeutsamen geschlechtsspezifischen Unterschiede für sämtliche Variablen (Eingangs- und abhängige Variablen) vorliegen ( $t_{(229)} = 1.78$  bis  $t_{(141)} < .001$ ;  $.068 \leq p \leq 1.00$ ).

Zur Beantwortung der Fragestellungen 1-7 wird im Wesentlichen auf eine 2 x 2-faktorielle ANCOVA mit den Faktoren Zielqualität (Problemlöse- vs. Lernziele) und Zielspezifität (spezifische vs. unspezifische Ziele) sowie den Kovariaten Vorwissen, Intelligenz, aktuelle Motivation, Interesse und Lernzielorientierung zurückgegriffen (Tabelle 19, S. 135). Diese ANCOVA wurde in vier Modellen berechnet, wobei ein Modell jeweils eine abhängige Variable bezeichnet: Deklarativ-konzeptueller Wissenszuwachs, Leistung im Wissensanwendungstest, *cognitive load* und Häufigkeit der Strategienutzung. In dem Modell mit der abhängigen Variable deklarativ-konzeptueller Wissenszuwachs wurde die Kovariate Vorwissen nicht berücksichtigt, da der Wissenszuwachs bereits vorwissensbereinigt ist (vgl. Kapitel 5.3.1). In allen Modellen wurden die Interaktionen von Zielqualität und Zielspezifität, von Zielqualität und Lernzielorientierung sowie von Zielspezifität und Lernzielorientierung mit aufgenommen.

Da bei der ANCOVA die Variante einer hierarchischen Quadratsummenberechnung der Effekte gewählt wurde (Modelltyp 1), erfolgte die Berechnung der Effekte der Kovariaten sequenziell. In einer Reihenfolge zuerst in das Modell aufgenommene Kovariaten „belegen“ bereits einen bestimmten Varianzanteil, den sie an der abhängigen Variable erklären. Erklären beispielsweise zwei Kovariaten einen bestimmten Varianzanteil einer abhängigen Variable gemeinsam, so wird dieser sich überlappende Varianzanteil nur der zuerst aufgenommenen Kovariate zugeschrieben. Für jeweils nachfolgend in das Modell aufgenommene Kovariaten wird ein mit zuvor eingegangenen Kovariaten überlappender Teil erklärter Varianz nicht berücksichtigt, so dass für die zuletzt in der Sequenz aufgenommene Kovariate nur der für diese Kovariate spezifische Anteil an Varianz aufzuklären bleibt. Diese Methode wurde gewählt, um zu prüfen, wie viel Varianz insbesondere die Lernzielorientierung an der jeweils abhängigen Variable als zuletzt in das Modell aufgenommene Kovariate neben den Faktoren Zielqualität und

---

<sup>16</sup> Ein Überblick über *deskriptive* Mittelwerte und Standardabweichungen der vier Experimentalbedingungen hinsichtlich der abhängigen Variablen findet sich in Anhang 14.

Zielspezifität noch aufklären kann, wenn die Kovariaten deklarativ-konzeptuelles Vorwissen, Intelligenz, aktuelle Motivation und Interesse bereits ihren Teil belegt haben.

Einzelgruppenvergleiche zu den Fragestellungen 4-7 wurden mit „wiederholten“ und „einfachen“ Kontrasttests (z.B. Brosius, 2004) vorgenommen (siehe Tabelle 20, S. 136). Dafür wurde eine einfaktorielle ANCOVA für jede abhängige Variable berechnet, da hier, anders als bei der 2 x 2-faktoriellen ANCOVA, jede der vier einzelnen Experimentalgruppen (vgl. Tabelle 10, S. 113) jeweils genau eine Faktorstufe definiert. Dabei wurden die Quadratsummenberechnung des Typs 1 und die Reihenfolge der Kovariaten exakt beibehalten. Statt der einfachen Standardabweichungen für die Berechnungen der Effektgrößen (Cohen's  $d$ ) wurde bei jedem linearen ANCOVA-Modell die Wurzel aus dem mittleren Abweichungsquadrat des Fehlers ( $MS\ error$ ) verwendet, da in diesem Streuungsmaß die Kontrolle aller zusätzlichen Prädiktorvariablen eines jeweiligen linearen Modells berücksichtigt ist.

Eine *Poweranalyse* (Erdfelder, Faul & Buchner, 1996) zeigt, dass das 2 x 2-Design der vorliegenden Studie mit einem N von 229<sup>17</sup> Probanden und einem Alpha-Niveau von 5% Effekte ab einer als bedeutsam anzusehenden Größe von  $\eta^2 = .05$  (bzw.  $d = .48$ ;  $f^2 = .057$ ) mit 95%iger Wahrscheinlichkeit (Power von  $1 - \beta = .95$ ) aufdecken kann. Somit können mit diesem Design in der Stichprobe gefundene Effekte, die statistisch nicht signifikant sind, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\beta = .05$  als unbedeutend gelten.

Die Faktoren Zielqualität, Zielspezifität, deren Interaktion, die Interaktionen von Zielqualität und Lernzielorientierung sowie die von Zielspezifität und Lernzielorientierung erklären keine bedeutsamen Unterschiede in der Wissensanwendung als abhängige Lernerfolgsvariable ( $F_{(1, 129)} = 1.62$  bis  $F_{(1, 129)} < .01$ ;  $.206 \leq p \leq .987$ ; vgl. Abbildung 21, S. 142). Von den Kovariaten erklären nur das Vorwissen und die aktuelle Motivation signifikante Unterschiede in der Wissensanwendung ( $F_{(1, 129)} = 22.68$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .15$  bzw.  $F_{(1, 129)} = 11.89$ ,  $p = .001$ ,  $\eta^2 = .08$ ). Wie nach den statistisch nicht bedeutsamen Haupteffekten der 2 x 2-faktoriellen ANCOVA für die Wissensanwendung zu erwarten war, resultiert für diese abhängige Variable auch bei keinem Einzelgruppenvergleich ein signifikanter Kontrasteffekt ( $.184 \leq p \leq .942$ ). Deshalb wird die Wissensanwendung als Lernerfolgsvariable im gesamten Ergebnisteil nicht weiter aufgegriffen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der 2 x 2-faktoriellen ANCOVA aus Tabelle 19 (S. 135) als Überblick für jede der drei verbleibenden abhängigen Variablen berichtet, bevor die Resultate zur Überprüfung der konkreten Hypothesen präsentiert werden.

*Deklarativ-konzeptueller Wissenszuwachs.* Beim Vergleich der Faktoren Zielqualität und Zielspezifität hinsichtlich der abhängigen Variable Wissenszuwachs zeigt die 2 x 2-

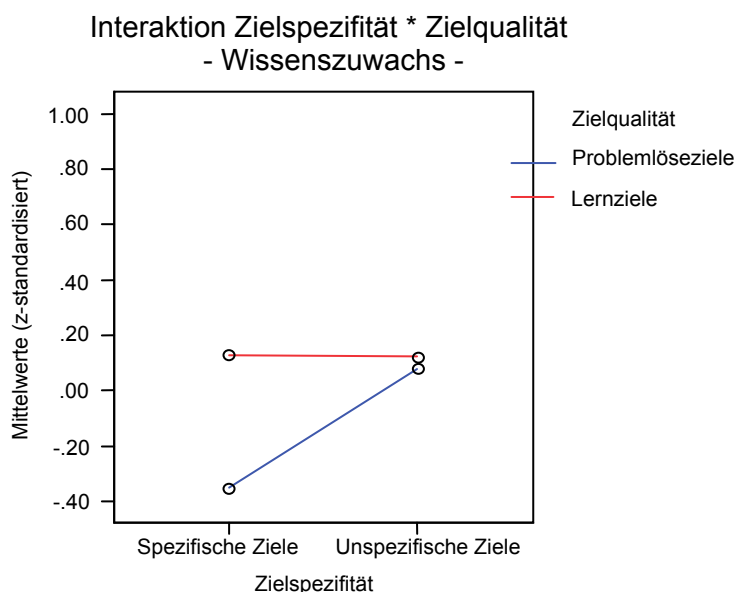
---

<sup>17</sup> Anders als in der Gesamtstichprobe (N = 233; siehe Kapitel 6.2.1) liegt das N für die 2 x 2-faktorielle ANCOVA bei N = 229, da vier Personen nicht alle Testinstrumente für die Kovariaten bearbeitet haben.

ANCOVA (Tabelle 19, S. 135) nur für Zielqualität einen signifikanten Haupteffekt ( $F_{(1, 219)} = 4.50, p = .018, \eta^2 = .02$ ), nicht aber für Zielspezifität ( $F_{(1, 219)} = 3.01, p = .084, \eta^2 = .01$ ). Die Interaktion der zwei Faktoren erklärt nur einen tendenziellen, aber einseitig signifikanten Anteil der Unterschiede im Wissenszuwachs ( $F_{(1, 219)} = 3.03, p = .042, \eta^2 = .01$ ; siehe Abbildung 18). Die Interaktionseffekte von Zielqualität und Lernzielorientierung sowie von Zielspezifität und Lernzielorientierung auf den Wissenszuwachs sind nicht statistisch signifikant ( $F_{(1, 219)} = .28, p = .597$ ;  $F_{(1, 219)} = .12, p = .733$ ). Von den Kovariaten erklären die Intelligenz, die aktuelle Motivation und die zuletzt in das Modell aufgenommene Lernzielorientierung einen signifikanten Varianzanteil im Wissenszuwachs ( $p < .001, \eta^2 = .07$ ;  $p = .003, \eta^2 = .04$ ;  $p = .009, \eta^2 = .03$ ).

Eine für den Wissenszuwachs zusätzlich vorgenommene *Kommunalitätenanalyse* zeigt, dass 57% der insgesamt durch alle vier Kovariaten am Wissenszuwachs erklärten Varianz nur auf die drei Kovariaten Intelligenz, aktuelle Motivation und Interesse (unter Auspartialisierung der Lernzielorientierung) zurückgehen. Der spezifische Anteil der durch alle vier Kovariaten aufgeklärten Varianz im Wissenszuwachs, der allein auf die Lernzielorientierung zurückgeht (unter Auspartialisierung der drei anderen Kovariaten), beträgt 20%, der durch alle vier Kovariaten gemeinsam erklärte Anteil beträgt 23%.

Wie Tabelle 20 (S. 136) ausweist, zeigen sich bei den Einzelgruppenvergleichen für den Wissenszuwachs bedeutsame Unterschiede zwischen spezifischen und unspezifischen Problemlösezielen ( $p = .005, d = .48$ ), zwischen spezifischen Problemlöse- und Lernzielen ( $p = .005, d = .57$ ) sowie zwischen spezifischen Problemlösezielen und unspezifischen Lernzielen ( $p = .010, d = .53$ ).



**Abbildung 18:** Einseitig signifikanter Interaktionseffekt von Zielqualität und Zielspezifität auf den Wissenszuwachs

*Cognitive load*. In der 2 x 2-ANCOVA wurde hinsichtlich der abhängigen Variable *cognitive load* nur für den Faktor Zielspezifität ein signifikanter Haupteffekt ermittelt ( $F_{(1, 212)} = 25.70$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .11$ ), nicht jedoch für den Faktor Zielqualität ( $F_{(1, 212)} = 1.10$ ,  $p = .296$ ; siehe Tabelle 19, S. 135). Auch die Interaktionen von Zielqualität und Zielspezifität, von Zielqualität und Lernzielorientierung sowie von Zielspezifität und Lernzielorientierung erklären keine bedeutsamen Unterschiede im *cognitive load* ( $1.68 \geq F_{(1, 212)} \geq .05$ ;  $.196 \leq p \leq .832$ ; siehe Abbildung 19). Von den Kovariaten erklären nur die Intelligenz und das deklarativ-konzeptuelle Vorwissen einen statistisch bedeutsamen, aber geringen Varianzanteil im *cognitive load* ( $p = .017$ ,  $\eta^2 = .03$ ;  $p = .027$ ,  $\eta^2 = .02$ ).

Wie aus Tabelle 20 (S. 136) hervorgeht, zeigen sich bei den Einzelgruppenvergleichen für den *cognitive load* bedeutsame Unterschiede zwischen spezifischen und unspezifischen Problemlösezielen ( $p = .003$ ,  $d = .53$ ), zwischen spezifischen Problemlösezielen und unspezifischen Lernzielen ( $p = .003$ ,  $d = .58$ ), zwischen unspezifischen Problemlösezielen und spezifischen Lernzielen ( $p < .001$ ,  $d = .79$ ) sowie zwischen spezifischen und unspezifischen Lernzielen ( $p < .001$ ,  $d = .85$ ).

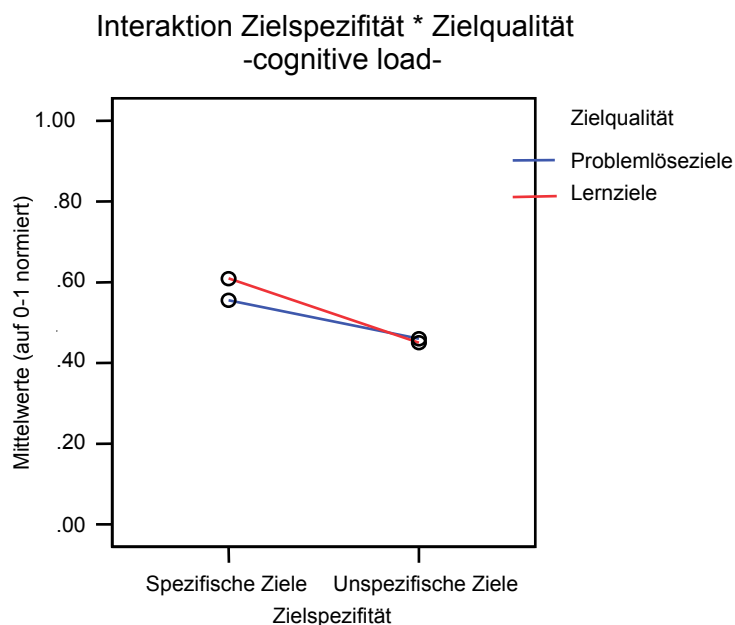
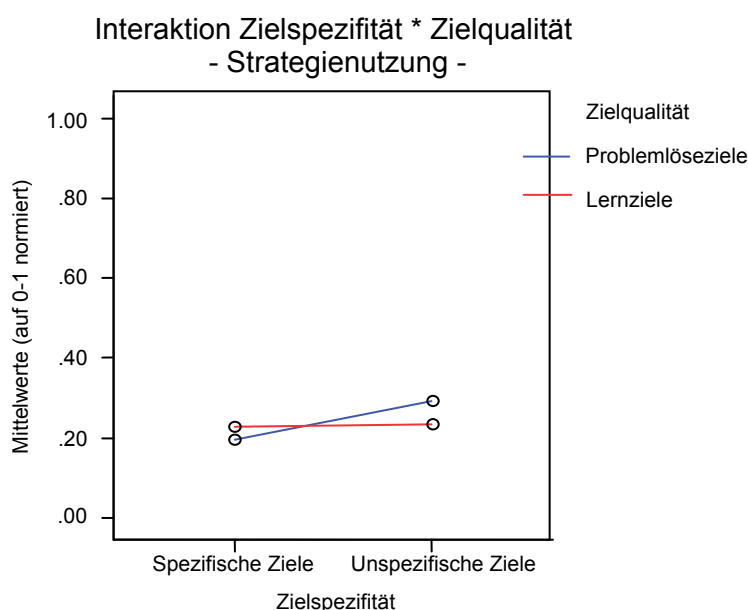


Abbildung 19: Nicht signifikanter Interaktionseffekt von Zielqualität und Zielspezifität auf den *cognitive load*

*Strategienutzung.* Hinsichtlich der Strategienutzung als abhängige Variable resultiert aus der ANCOVA nur für den Faktor Zielspezifität ein signifikanter Haupteffekt ( $F_{(1, 133)} = 8.43$ ,  $p = .004$ ,  $\eta^2 = .06$ ), nicht hingegen für den Faktor Zielqualität ( $F_{(1, 133)} = .44$ ,  $p = .204$ ; siehe Tabelle 19, S. 135). Der Interaktionseffekt von Zielqualität und Zielspezifität auf die Strategienutzung ist bedeutsam ( $F_{(1, 133)} = 7.23$ ,  $p = .008$ ,  $\eta^2 = .05$ ; siehe Abbildung 20), wohingegen die Interaktionen von Zielqualität und Lernzielorientierung sowie von Zielspezifität und Lernzielorientierung keine bedeutsamen Unterschiede in der Strategienutzung erklären ( $F_{(1, 133)} = .02$ ,  $p = .887$ ;  $F_{(1, 133)} = .84$ ,  $p = .361$ ). Von den Kovariaten erklärt nur das deklarativ-konzeptuelle Vorwissen einen statistisch bedeutsamen Varianzanteil in der Strategienutzung ( $p = .021$ ,  $\eta^2 = .04$ ).

Wie Tabelle 20 (S. 136) zeigt, ergeben sich bei den Einzelgruppenvergleichen für die Strategienutzung bedeutsame Unterschiede zwischen spezifischen und unspezifischen Problemlösezielen ( $p < .001$ ,  $d = .90$ ), zwischen unspezifischen Problemlösezielen und spezifischen Lernzielen ( $p = .009$ ,  $d = .60$ ) sowie zwischen unspezifischen Problemlöse- und Lernzielen ( $p = .013$ ,  $d = .50$ ).



**Abbildung 20:** Signifikanter disordinaler Interaktionseffekt von Zielqualität und Zielspezifität auf die Strategienutzung



**Tabelle 19: 2 x 2-ANCOVA zu den Fragestellungen 1 und 2**

| <i>Modell 1: Abhängige Variable: Wissenszuwachs*</i> |            |     |       |       |       |                     |
|--|------------|-----|-------|-------|-------|---------------------|
|  | SS (Typ 1) | df  | MS    | F     | p     | Partielles $\eta^2$ |
| Intelligenz (Kovariate 1)                            | 13.28      | 1   | 13.28 | 15.14 | <.001 | .07                 |
| Aktuelle Motivation (Kovariate 2)                    | 8.16       | 1   | 8.16  | 9.31  | .003  | .04                 |
| Interesse (Kovariate 3)                              | .34        | 1   | .34   | .39   | .534  | <.01                |
| Lernzielorientierung (Kovariate 4)                   | 6.06       | 1   | 6.06  | 6.92  | .009  | .03                 |
| Zielqualität (Faktor 1)                              | 3.93       | 1   | 3.93  | 4.50  | .018* | .02                 |
| Zielspezifität (Faktor 2)                            | 2.64       | 1   | 2.64  | 3.01  | .084  | .01                 |
| Zielqualität * Zielspezifität                        | 2.70       | 1   | 2.66  | 3.03  | .042* | .01                 |
| Zielqualität * Lernzielorientierung                  | .25        | 1   | .25   | .28   | .597  | <.01                |
| Zielspezifität * Lernzielorientierung                | .10        | 1   | .10   | .12   | .733  | <.01                |
| Fehler   | 192.00     | 219 | .88   |       |       |                     |
| Gesamt   | 229.44     | 229 |       |       |       |                     |

R-Quadrat = .16 (Korrigiertes R-Quadrat = .13)

| <i>Modell 2: Abhängige Variable: Cognitive load</i> |            |     |      |       |       |                     |
|---|------------|-----|------|-------|-------|---------------------|
|   | SS (Typ 1) | df  | MS   | F     | p     | Partielles $\eta^2$ |
| Vorwissen (Kovariate 1)                             | .17        | 1   | .174 | 4.97  | .027  | .02                 |
| Intelligenz (Kovariate 2)                           | .20        | 1   | .20  | 5.74  | .017  | .03                 |
| Aktuelle Motivation (Kovariate 3)                   | .03        | 1   | .03  | .79   | .374  | <.01                |
| Interesse (Kovariate 4)                             | .12        | 1   | .12  | 3.29  | .071  | .02                 |
| Lernzielorientierung (Kovariate 5)                  | .10        | 1   | .10  | 2.83  | .094  | .01                 |
| Zielqualität (Faktor 1)                             | .04        | 1   | .04  | 1.10  | .296  | .01                 |
| Zielspezifität (Faktor 2)                           | .90        | 1   | .90  | 25.70 | <.001 | .11                 |
| Zielqualität * Zielspezifität                       | .06        | 1   | .06  | 1.68  | .196  | .01                 |
| Zielqualität * Lernzielorientierung                 | <.01       | 1   | <.01 | .05   | .832  | <.01                |
| Zielspezifität * Lernzielorientierung               | .03        | 1   | .03  | .74   | .391  | <.01                |
| Fehler  | 7.42       | 212 | .04  |       |       |                     |
| Gesamt  | 69.52      | 223 |      |       |       |                     |

R-Quadrat = .18 (Korrigiertes R-Quadrat = .14)

| <i>Modell 3: Abhängige Variable: Strategienutzung</i> |            |     |      |      |       |                     |
|---|------------|-----|------|------|-------|---------------------|
|   | SS (Typ 1) | df  | MS   | F    | p     | Partielles $\eta^2$ |
| Vorwissen (Kovariate 1)                               | .05        | 1   | .05  | 5.46 | .021  | .04                 |
| Intelligenz (Kovariate 2)                             | <.01       | 1   | <.01 | .09  | .767  | <.01                |
| Aktuelle Motivation (Kovariate 3)                     | .03        | 1   | .03  | 3.25 | .074  | .02                 |
| Interesse (Kovariate 4)                               | <.01       | 1   | <.01 | .13  | .722  | <.01                |
| Lernzielorientierung (Kovariate 5)                    | .02        | 1   | .02  | 2.20 | .143  | .02                 |
| Zielqualität (Faktor 1)                               | <.01       | 1   | <.01 | .44  | .204* | <.01                |
| Zielspezifität (Faktor 2)                             | .07        | 1   | .08  | 8.43 | .004  | .06                 |
| Zielqualität * Zielspezifität                         | <.01       | 1   | .07  | 7.23 | .008  | .05                 |
| Zielqualität * Lernzielorientierung                   | <.01       | 1   | <.01 | .02  | .887  | <.01                |
| Zielspezifität * Lernzielorientierung                 | <.01       | 1   | .01  | .84  | .361  | <.01                |
| Fehler  | 1.30       | 133 | .01  |      |       |                     |
| Gesamt  | 9.71       | 144 |      |      |       |                     |

R-Quadrat = .17 (Korrigiertes R-Quadrat = .11)

**Anmerkungen:** \*Die Kovariate Vorwissen wurde bei der abhängigen Variable Wissenszuwachs nicht berücksichtigt, da letztere bereits vorwissensbereinigt ist; SS = *sum of square* (Quadratsumme); df = Freiheitsgrade; MS = *mean square* (mittleres Abweichungsquadrat); p = Signifikanz.\* Einseitige Signifikanztestung, da hierfür gerichtete Hypothesen vorlagen.

Tabelle 20: Alle ANCOVA-Kontraste im Überblick

| Kontrast           | Abhängige Variable      | <i>M</i> 1 *      | <i>M</i> 2 *     | Kontrast-schätzer | <i>p</i> | Cohen's <i>d</i> |
|--------------------|-------------------------|-------------------|------------------|-------------------|----------|------------------|
| <i>EG1 vs. EG2</i> | <i>Wissenszuwachs</i>   | <i>EG1 = -.37</i> | <i>EG2 = .08</i> | .45               | .005*    | .48              |
| EG1 vs. EG3        | "                       | EG1 = -.37        | EG3 = .16        | .53               | .005     | .57              |
| EG1 vs. EG4        | "                       | EG1 = -.37        | EG4 = .12        | .50               | .010     | .53              |
| EG2 vs. EG3        | "                       | EG2 = .08         | EG3 = .16        | -.08              | .662     | .08              |
| EG2 vs. EG4        | "                       | EG2 = .08         | EG4 = .12        | -.04              | .810     | .04              |
| <i>EG3 vs. EG4</i> | "                       | <i>EG3 = .16</i>  | <i>EG4 = .12</i> | .03               | .847     | .04              |
| <i>EG1 vs. EG2</i> | <i>Cognitive load</i>   | <i>EG1 = .56</i>  | <i>EG2 = .46</i> | .10               | .003*    | .53              |
| EG1 vs. EG3        | "                       | EG1 = .56         | EG3 = .61        | -.05              | .138     | .26              |
| EG1 vs. EG4        | "                       | EG1 = .56         | EG4 = .45        | .11               | .003     | .58              |
| EG2 vs. EG3        | "                       | EG2 = .46         | EG3 = .61        | -.15              | <.001    | .79              |
| EG2 vs. EG4        | "                       | EG2 = .46         | EG4 = .45        | .01               | .827     | .05              |
| <i>EG3 vs. EG4</i> | "                       | <i>EG3 = .61</i>  | <i>EG4 = .45</i> | .16               | <.001    | .85              |
| <i>EG1 vs. EG2</i> | <i>Strategienutzung</i> | <i>EG1 = .20</i>  | <i>EG2 = .29</i> | -.10              | <.001    | .90              |
| EG1 vs. EG3        | "                       | EG1 = .20         | EG3 = .23        | .03               | .187     | .30              |
| EG1 vs. EG4        | "                       | EG1 = .20         | EG4 = .24        | .04               | .102     | .39              |
| EG2 vs. EG3        | "                       | EG2 = .29         | EG3 = .23        | .07               | .009     | .60              |
| EG2 vs. EG4        | "                       | EG2 = .29         | EG4 = .24        | .06               | .013     | .50              |
| <i>EG3 vs. EG4</i> | "                       | <i>EG3 = .23</i>  | <i>EG4 = .24</i> | -.01              | .790     | .10              |

Anmerkungen: EG1 = Spezifische Problemlöseziele; EG2 = Unspezifische Problemlöseziele; EG3 = Spezifische Lernziele; EG4 = Unspezifische Lernziele; *M* = Mittelwert (*estimated means* der ANCOVA); *p* = Signifikanzniveau; Hypothesenrelevante Kontraste sind kursiv. \* Für die Berechnung der Effektgrößen (Cohen's *d*) wurde bei jedem ANCOVA-Modell die Wurzel aus dem mittleren Abweichungsquadrat des Fehlers (*MS error*) verwendet; \*Einseitige Signifikanztestung (gerichtete Hypothesen).

In den folgenden Kapiteln 6.3.1 bis 6.3.4 werden die Ergebnisse der oben berichteten 2 x 2-faktoriellen ANCOVA zu den konkreten Hypothesen der Fragestellungen 1-7 aus Kapitel 4.2 in der gleichen Reihenfolge präsentiert. Zunächst erfolgt der Vergleich der Faktoren Zielqualität (Problemlöse- vs. Lernziele) und Zielspezifität (spezifische vs. unspezifische Ziele) hinsichtlich ihres Einflusses auf die abhängigen Variablen Lernerfolg, *cognitive load* und Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren. Schließlich wird auf die Ergebnisse zum Einfluss der internalen Lernzielorientierung auf die lernerfolgsbezogenen Effekte externaler Zielvorgaben eingegangen. Abschließend werden in Kapitel 6.3.5 Befunde zur Varianzaufklärung durch die Zielspezifität im Lernerfolg, im *cognitive load* und in der Strategienutzung nur bei Problemlösezielen respektive nur bei Lernzielen vorgestellt.

### 6.3.1 Zielqualität und Zielspezifität

1. Ist die Zielqualität (Problemlöseziele vs. Lernziele) relevanter für den Lernerfolg als die Zielspezifität (spezifische vs. unspezifische Ziele)?

Hypothese 1a: Lernziele bewirken einen signifikant höheren Lernerfolg als Problemlöseziele. Ein signifikanter Haupteffekt der 2 x 2-ANCOVA für den Faktor

Zielqualität bestätigt die Annahme, dass Lernziele zu einem bedeutsam höheren deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs führen als Problemlöseziele ( $F_{(1, 219)} = 4.50$ ,  $p = .018$ ,  $\eta^2 = .02$ ; siehe Tabelle 19, S. 135).

*Hypothese 1b: Unspezifische Ziele bewirken keinen signifikant höheren Lernerfolg als spezifische Ziele.* Der nicht signifikante Haupteffekt für den Faktor Zielspezifität auf den Wissenszuwachs zeigt, dass unspezifische Ziele, wie erwartet, nicht zielqualitätsübergreifend bedeutsam mehr Lernerfolg bewirkten als spezifische Ziele ( $F_{(1, 219)} = 3.01$ ,  $p = .084$ ,  $\eta^2 = .01$ ; siehe Tabelle 19, S. 135). Gemäß der Poweranalyse für das vorliegende Design (siehe S. 131) ist dieser nicht signifikante Effekt als tatsächlich unbedeutend einzuschätzen.

*Interaktion in Bezug auf Wissenszuwachs<sup>18</sup>.* Der Interaktionseffekt der Faktoren Zielspezifität und Zielqualität auf den Wissenszuwachs ist einseitig signifikant, weist aber eine geringe Effektstärke auf ( $F_{(1, 219)} = 3.03$ ,  $p = .042$ ,  $\eta^2 = .01$ ; siehe Tabelle 19, S. 135 und Abbildung 18, S. 132). Er veranschaulicht jedoch, dass, wie zuvor angenommen, die Zielspezifität nur bei Problemlösezielen eine Rolle für den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs spielt, nicht aber bei Lernzielen (vgl. Kapitel 4.2 sowie die Hypothesen 3 und 6a in den Kapiteln 6.3.2 bzw. 6.3.3).

Die beiden Hypothesen 1a und 1b konnten bezogen auf den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs zwar im Einzelnen bestätigt werden. Jedoch ist damit die Frage, ob Zielqualität für den Lernerfolg (deklarativ-konzeptueller Wissenszuwachs) *bedeutsam* relevanter ist als Zielspezifität, noch nicht beantwortet. Ist nur einer von zwei Effekten signifikant, kann daraus noch nicht geschlossen werden, dass das Ausmaß des signifikanten Effekts bedeutsam größer ist als das des nicht signifikanten Effekts.

Ronis (1981) entwickelte ein Verfahren, mit dem sich die Ausmaße zweier Haupteffekte innerhalb eines  $2 \times 2$ -Designs gegeneinander auf Signifikanz prüfen lassen. Dazu wird nach Ronis zunächst jeder von zwei miteinander zu vergleichenden Haupteffekten durch einen gewichteten Kontrast zwischen den Mittelwerten der vier Gruppen des  $2 \times 2$ -Designs repräsentiert, wodurch die relative Größe zweier Effekte zueinander abgebildet wird.

Ronis leitet dazu letztlich die folgende Formel ab:

$$RS_{A-B} = (-\frac{1}{2}) \times (m_2) + (+\frac{1}{2}) \times (m_3)$$

$RS_{A-B}$  = relative Größe zweier zu vergleichender Haupteffekte A und B  
 $-\frac{1}{2}$  und  $+\frac{1}{2}$  = die Kontrastgewichte  
 $m_2$  und  $m_3$  = beispielhaft für die jeweilige Faktorstufe mit dem größeren Mittelwert

<sup>18</sup> Für diesen Interaktionseffekt wurde zwar keine *explizite* Hypothese aufgestellt, aber sein Muster entspricht den gerichteten Hypothesen 3 und 6a in den Kapiteln 6.3.3 bzw. 6.3.2.

Schließlich wird ein empirischer F-Wert ermittelt, der Auskunft darüber gibt, ob der Unterschied zwischen den zwei Haupteffekten A und B bedeutsam ist, oder nicht:

$$F = \frac{(\sum_i c_i m_i)^2}{MS_{S/AB} (\sum_i c_i^2 / n_i)}$$

- $F$  = empirisch zu ermittelnder F-Wert  
 $c_i$  = Kontrastgewicht für Bedingung  $i$   
 $m_i$  = Mittelwert der Bedingung  $i$   
 $n_i$  = Anzahl der Versuchspersonen unter Bedingung  $i$   
 $MS_{S/AB}$  = Mittleres Quadrat des Interaktionseffektes beider zu vergleichender Faktoren<sup>19</sup>

Durch den Vergleich des empirischen F-Wertes mit dem Tafelwert der entsprechenden F-Werte-Verteilung wird schließlich die ermittelte Größe  $RS_{A-B}$  auf Signifikanz getestet (für die vollständige Beschreibung des Verfahrens siehe Ronis, 1981, ab S. 995).

Im konkreten Fall der vorliegenden Studie resultiert folgender F-Wert:

$$F = \frac{((-1/2 \times .16) + (+1/2 \times .08))^2}{2,66 \times ((-1/2^2 / 58) + (+1/2^2 / 56))}$$

$$F = .07$$

wobei:

- $.16$  = *estimated mean* der EG3 aus der 2 x 2-ANCOVA (spezifische Lernziele, N = 58)  
 $.08$  = *estimated mean* der EG2 aus der 2 x 2-ANCOVA (unspezifische Problemlöseziele, N = 56)

Der errechnete F-Wert ist auf dem Alpha-Niveau von .05 nicht statistisch signifikant ( $F_{\text{emp}} = .07 < F_{\text{Tafel}} = 3.84$ ). Somit ist der Faktor Zielqualität in der vorliegenden Arbeit nur tendenziell, aber nicht bedeutsam relevanter für den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs, verglichen mit dem Faktor Zielspezifität: Der Unterschied zwischen den Effektausmaßen der zwei Faktoren ist nicht substanziell.

2. Spielt die Zielqualität (Problemlöseziele vs. Lernziele) nicht nur für den Lernerfolg, sondern ebenfalls für den cognitive load und die Strategienutzung eine Rolle?

Hypothese 2a: Problemlöseziele bewirken keinen signifikant höheren cognitive load als Lernziele. Hinsichtlich des cognitive load als abhängige Variable zeigt sich

<sup>19</sup> Persönliche Mitteilung durch Ronis am 04.07.2007.

erwartungsgemäß kein signifikanter Unterschied zwischen Problemlöse- und Lernzielen ( $F_{(1, 212)} = 1.10, p = .296, \eta^2 = .01$ ; Tabelle 19, S. 135).

*Hypothese 2b: Lernziele bewirken eine häufigere Strategienutzung als Problemlöseziele.* Lernziele führten nicht wie angenommen zu einer häufigeren Strategienutzung als Problemlöseziele ( $F_{(1, 133)} = .44, p = .204, \eta^2 < .01$ ; siehe Tabelle 19, S. 135).

Die Poweranalyse auf Seite 131 zeigt, dass die zu den Hypothesen 2a und 2b erhaltenen Effekte (beide sogar kleiner als  $\eta^2 = .01$ ) als unbedeutend anzusehen sind.

*Interaktion in Bezug auf Wissenszuwachs.* Der Interaktionseffekt von Zielspezifität und Zielqualität auf den Wissenszuwachs ist einseitig signifikant und spricht dafür, dass erwartungsgemäß die Zielspezifität nur bei Problemlösezielen, nicht aber bei Lernzielen relevant für den Wissenszuwachs ist ( $F_{(1, 219)} = 3.03, p = .042, \eta^2 = .01$ ; siehe Abbildung 18, S. 132).

*Interaktion in Bezug auf cognitive load respektive Strategienutzung.* Während für die abhängige Variable *cognitive load* kein bedeutsamer Interaktionseffekt für die Faktoren Zielspezifität und Zielqualität resultiert ( $F_{(1, 212)} = 1.68, p = .196, \eta^2 = .01$ ; siehe Abbildung 19, S. 133), interagieren diese Faktoren bedeutsam bezogen auf die Strategienutzung ( $F_{(1, 133)} = 7.23, p = .008, \eta^2 = .05$ ). Das bedeutet, dass unspezifische Ziele nur bei Problemlösezielen eine häufigere Strategienutzung bewirkten als spezifische Ziele, nicht aber bei Lernzielen (siehe Abbildung 20, S. 134).

Die Zielspezifität spielt offenbar zielqualitätsübergreifend eine Rolle für den *cognitive load* und die Strategienutzung: Unspezifische Ziele bewirkten insgesamt einen deutlich geringeren *cognitive load* als spezifische Ziele ( $F_{(1, 212)} = 25.70, p < .001, \eta^2 = .11$ ) und eine häufigere Strategienutzung als diese ( $F_{(1, 133)} = 8.43, p = .004, \eta^2 = .06$ ; siehe Tabelle 19, S. 135).

Zusammenfassend wurden die Hypothesen 1a, 1b und 2a bestätigt: Lernziele führen insgesamt zu höherem Lernerfolg als Problemlöseziele, so dass die Zielqualität sich als relevant für den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs herausstellt. Für die Zielspezifität ergab sich erwartungskonform kein statistisch signifikanter Haupteffekt für den Wissenszuwachs, jedoch unterscheiden sich die Effekte der beiden Faktoren Zielqualität und Zielspezifität nicht bedeutsam voneinander. Wider Erwarten bewirkten Lernziele keine häufigere Strategienutzung als Problemlöseziele.

### **6.3.2 Problemlöseziele**

Für die Beantwortung der Fragestellungen 3-6 (Kapitel 6.3.2 und Kapitel 6.3.3) wurden kovarianzanalytische Kontrasttests durchgeführt (siehe Tabelle 20, S. 136).

### 6.3.2.1 Problemlöseziele und Lernerfolg

3. *Lässt sich der Zielspezifitätseffekt (z.B. Sweller, 1988, 1994) für Problemlöseziele in der vorliegenden Studie replizieren?*

*Hypothese 3: Unspezifische Problemlöseziele bewirken einen signifikant höheren Lernerfolg als spezifische Problemlöseziele.* Der Einzelvergleich als Kontrast zwischen den zwei Experimentalbedingungen zeigt eine statistisch bedeutsame Überlegenheit unspezifischer Problemlöseziele hinsichtlich des Wissenszuwachses (spezifische Problemlöseziele:  $N = 60$ ,  $M = -.37$ ; unspezifische Problemlöseziele:  $N = 56$ ,  $M = .08$ ;  $p = .005$ ,  $d = .48$ ; Tabelle 20, S. 136; vgl. Abbildung 18, S. 132). Die dritte Hypothese konnte somit im Rahmen einer mittleren Effektstärke bestätigt werden: Probanden unter unspezifischen Problemlösezielen wiesen einen bedeutsam höheren deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs auf als Probanden unter spezifischen Problemlösezielen. Damit ist die Replikation des Zielspezifitätseffekts gelungen.

### 6.3.2.2 Problemlöseziele und cognitive load

4. *Belastet die Bearbeitung unspezifischer Problemlöseziele das Arbeitsgedächtnis geringer als die Bearbeitung spezifischer Problemlöseziele?*

*Hypothese 4: Unspezifische Problemlöseziele erlegen einen signifikant geringeren cognitive load auf als spezifische Problemlöseziele.* Der statistische Vergleich von spezifischen mit unspezifischen Problemlösezielen hinsichtlich ihrer Wirkung auf den *cognitive load* zeigt den erwarteten substanziellen Kontrasteffekt: Probanden mit unspezifischen Problemlösezielen wiesen bei mittlerer praktischer Bedeutsamkeit einen signifikant geringeren *cognitive load* auf als Probanden mit spezifischen Problemlösezielen (spezifische Problemlöseziele:  $N = 58$ ,  $M = .56$ ; unspezifische Problemlöseziele:  $N = 55$ ,  $M = .46$ ;  $p = .003$ ,  $d = .53$ ; siehe Tabelle 20, S. 136; vgl. Abbildung 19, S. 133).

### 6.3.2.3 Problemlöseziele und Strategienutzung

5. *Bewirken unspezifische Problemlöseziele verglichen mit spezifischen Problemlösezielen eine häufigere Strategienutzung?*

*Hypothese 5: Unspezifische Problemlöseziele bewirken eine signifikant häufigere Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle als spezifische Problemlöseziele.* Der Kontrasteffekt hinsichtlich der Strategienutzung als abhängige Variable bestätigt, dass Probanden unter der Bedingung unspezifischer Problemlöseziele bedeutsam häufiger die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle nutzten als Probanden mit spezifischen Problemlösezielen (spezifische Problemlöseziele:  $N = 35$ ,  $M = .20$ ; unspezifische Problemlöseziele:  $N = 33$ ,  $M = .29$ ;  $p <$

.001,  $d = .90$ ; siehe Tabelle 20, S. 136; vgl. Abbildung 20, S. 134). Angesichts der hohen Effektstärke von  $d = .90$  kann anknüpfend an die ersten beiden Hypothesen davon ausgegangen werden, dass sich die Spezifität bei Problemlösezielen nicht nur auf den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs und den *cognitive load*, sondern insbesondere auch auf die Häufigkeit der Strategienutzung auswirkt. Ebenfalls hängen Strategienutzung und Wissenszuwachs nur bei Probanden mit unspezifischen Problemlösezielen statistisch bedeutsam zusammen ( $r = .47$ ,  $p = .005$ ), nicht jedoch bei Probanden mit spezifischen Problemlösezielen ( $r = .26$ ,  $p = .119$ ). Der Unterschied zwischen diesen zwei Korrelationskoeffizienten ist jedoch auch einseitig nicht statistisch signifikant ( $Z = .98$ ,  $p = .159$ ; Diehl & Arbinger, 1992).

### 6.3.3 Lernziele

6. Sind die Effekte der Zielspezifität auf den Lernerfolg, auf den *cognitive load* und auf die Häufigkeit der Strategienutzung auf den Vergleich von spezifischen mit unspezifischen Problemlösezielen beschränkt, oder zeigen sie sich ebenfalls beim Vergleich von spezifischen mit unspezifischen Lernzielen?

*Hypothese 6a: Unspezifische Lernziele bewirken keinen signifikant höheren Lernerfolg als spezifische Lernziele.* Wie erwartet, spielte der Spezifitätsgrad bei Lernzielen keine Rolle für den Wissenszuwachs: Der Kontrasteffekt zwischen den beiden Lernzielgruppen ist nicht signifikant (spezifische Lernziele:  $N = 57$ ,  $M = .16$ ; unspezifische Lernziele:  $N = 56$ ,  $M = .12$ ;  $p = .847$ ,  $d = .04$ ; siehe Tabelle 20, S. 136).

*Hypothese 6b: Unspezifische Lernziele bewirken keinen signifikant geringeren cognitive load als spezifische Lernziele.* Die Hypothese 6b konnte sich im statistischen Vergleich der Effekte spezifischer und unspezifischer Lernziele auf den *cognitive load* nicht behaupten: Der Spezifitätsgrad beeinflusste den *cognitive load* in der Explorationsphase offenbar nicht nur bei Problemlösezielen, sondern auch bei Lernzielen. Mit relativ hoher praktischer Bedeutsamkeit schätzten Probanden unter spezifischen Lernzielen ( $N = 56$ ,  $M = .61$ ) ihre investierte kognitive Kapazität bedeutsam höher ein als Probanden unter unspezifischen Lernzielen ( $N = 54$ ,  $M = .45$ ;  $p < .001$ ,  $d = .85$ ; siehe Tabelle 20, S. 136). Dementsprechend liegt, wie bereits berichtet, keine *Interaktion* für die Faktoren Zielspezifität und Zielqualität in Bezug auf *cognitive load* vor ( $F_{(1, 212)} = 1.68$ ,  $p = .196$ ; siehe Tabelle 19, S. 135; Abbildung 19, S. 133).

*Hypothese 6c: Unspezifische Lernziele bewirken keine signifikant häufigere Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle als spezifische Lernziele.* Die Überprüfung der Hypothese 6c ergab ein erwartungskonformes Resultat, indem die Zielspezifität bei Lernzielen keinen signifikanten Unterschied in der Nutzungshäufigkeit der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle bewirkte (Kontrasteffekt: Spezifische

Lernziele:  $N = 36$ ,  $M = .23$ ; unspezifische Lernziele:  $N = 41$ ,  $M = .24$ ;  $p = .790$ ,  $d = .10$ ; siehe Tabelle 20, S. 136).

Die nicht signifikanten Kontrasteffekte zu den Hypothesen 6a und 6c können (bei äußerst geringen Effektstärken von  $d = .04$  und  $d = .10$ ) als tatsächlich nicht bedeutsam betrachtet werden (vgl. S.131).

Zusammenfassend konnten, Hypothese 4b ausgenommen, alle Hypothesen zu den Fragestellungen 4-7 bestätigt werden. Die Ergebnisse hierzu zeigen, dass unspezifische Ziele nur dann einen höheren deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs und eine häufigere Strategienutzung als spezifische Ziele bewirken, wenn es sich um Problemlöseziele handelt. Werden hingegen spezifische mit unspezifischen Lernzielen verglichen, resultieren keine bedeutsamen Unterschiede. Allerdings stellte sich sowohl für Problemlöseziele als auch für Lernziele heraus, dass spezifische Ziele einen bedeutsam höheren *cognitive load* erzeugen als unspezifische Ziele (siehe Tabelle 19, S. 135).

Abbildung 21 illustriert abschließend zu den Fragestellungen 1-6 eine überblicksartige Zusammenschau für die Mittelwerte aller vier Zielarten hinsichtlich der abhängigen Variablen Wissenszuwachs, Wissensanwendung, *cognitive load* und Strategienutzung.

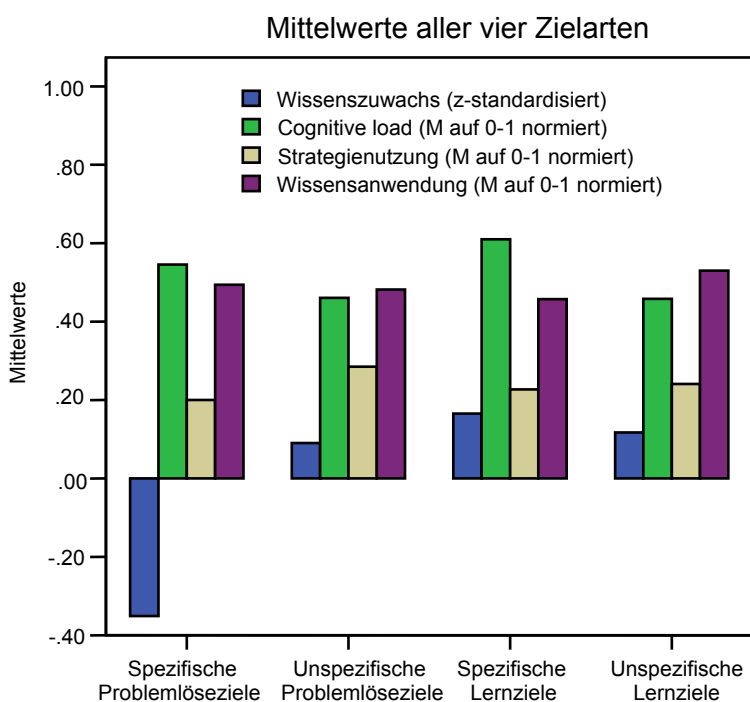


Abbildung 21: Mittelwerte aller abhängigen Variablen für alle vier Zielarten



### 6.3.4 Internale Lernzielorientierung und externe Zielvorgaben

*7. Können die Effekte externaler Zielvorgaben auf den Lernerfolg durch das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung bedeutsam verstärkt respektive abgeschwächt werden?*

*Hypothese 7a: Die Effekte der Zielqualität auf den Lernerfolg werden durch das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung zwar geringfügig, aber statistisch signifikant moderiert.*

Eine Moderatoranalyse mit Hilfe von Strukturgleichungsmodellen konnte aufgrund der zu geringen Fallzahl in den hierfür zu bildenden Subgruppen nicht durchgeführt werden. Der nicht signifikante Interaktionseffekt in der 2 x 2-faktoriellen ANCOVA zwischen dem Faktor Zielqualität und der Kovariate Lernzielorientierung auf den Wissenszuwachs zeigt jedoch, dass Hypothese 7a abzulehnen ist ( $F_{(1, 219)} = .28, p = .597, \eta^2 < .01$ ; siehe Tabelle 19, S. 135). Von einer bedeutsamen Moderation der Effekte der Zielqualität auf den Wissenszuwachs durch das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung ist somit nicht auszugehen.

*Hypothese 7b: Die Effekte der Zielspezifität auf den Lernerfolg werden durch das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung nicht statistisch signifikant moderiert.* Erwartungsgemäß moderiert das Ausmaß an Lernzielorientierung die lernerfolgsbezogenen Effekte der Zielspezifität nicht: Der Interaktionseffekt der Faktoren Zielspezifität und Lernzielorientierung auf den Wissenszuwachs ist nicht bedeutsam ( $F_{(1, 219)} = .12, p = .733, \eta^2 < .01$ ; siehe Tabelle 19, S. 135).

Die beiden Interaktionseffekte zu den Hypothesen 7a und 7b sind als tatsächlich nicht bedeutsam einzuschätzen (vgl. S. 131).

Diese Ergebnisse sprechen für eine relativ hohe Robustheit der in der experimentellen Studie dargebotenen externalen Zielvorgaben gegenüber internalen Zielorientierungen.

Wird die Gesamtstichprobe per Mediansplit nur in Probanden mit hoher versus Probanden mit geringer Lernzielorientierung eingeteilt, unterscheiden sich diese zwei Gruppen einseitig getestet signifikant voneinander im vorwissensbereinigten Wissenszuwachs (hohe Lernzielorientierung:  $N = 117, M = .12, SD = 1.01$ ; geringe Lernzielorientierung:  $N = 114, M = -.12, SD = .97$ ;  $t_{(229)} = 1.86, p = .033$ ), wenn auch mit einer geringen praktischen Bedeutsamkeit von  $d = .25$ . Auch T-Tests für die einfache Differenz zwischen Prä- und Posttest für das deklarativ-konzeptuelle Wissen<sup>20</sup> sprechen dafür, dass ein hohes Ausmaß an internaler Lernzielorientierung bei Probanden mit externalen Lernzielen und geringem Vorwissen den Wissenserwerb zumindest tendenziell gefördert hat: Werden nur solche Probanden mit externalen Lernzielen (EG3+EG4) betrachtet, die zudem eine *hohe Lernzielorientierung* und ein geringes

<sup>20</sup> Bei diesen T-Tests meint der Zugewinn an deklarativ-konzeptuellem Wissen nicht den vorwissensbereinigten Wissenszuwachs als Variable (siehe Kapitel 5.3.1), sondern die einfache Differenz zwischen Prä- und Posttest.

Vorwissen aufwiesen (Einteilung jeweils per Mediansplit), zeigt sich ein signifikanter Zugewinn an deklarativ-konzeptuellem Wissen mit gut mittelstarkem Effekt ( $N = 31$ ,  $\Delta M = .10$ ,  $t_{(30)} = 2.30$ ,  $p = .027$ ,  $d = .57$ ). Hingegen resultiert für solche Probanden mit externalen Lernzielen (EG3+EG4), die sich zudem durch eine *geringe Lernzielorientierung* und ein geringes Vorwissen ausweisen, kein bedeutsamer Zugewinn an deklarativ-konzeptuellem Wissen ( $N = 26$ ,  $\Delta M = .08$ ,  $t_{(25)} = 1.50$ ,  $p = .145$ ). Diejenigen Probanden mit Problemlösezielen (EG1+EG2), die eine hohe Lernzielorientierung und ein geringes Vorwissen zeigten, gewannen nicht nennenswert an Wissen hinzu ( $N = 24$ ,  $\Delta M = .04$ ,  $t_{(23)} = 1.13$ ,  $p = .270$ ). Dies trifft erst recht auf solche Probanden mit Problemlösezielen (EG1+EG2) und einem geringen Vorwissen zu, für die statt einer hohen, eine geringe Lernzielorientierung gemessen wurde ( $N = 33$ ,  $\Delta M = .01$ ,  $t_{(32)} = .24$ ,  $p = .815$ ).

Zusammenfassend konnte zur Fragestellung 7 nur die Hypothese 7b, dass die lernerfolgsbezogenen Effekte der Zielspezifität nicht statistisch bedeutsam vom Ausmaß der Lernzielorientierung moderiert werden, bestätigt werden. Für Hypothese 7a fand sich jedoch kein Beleg: Das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung hatte keine moderierende Funktion für die Effekte von Zielqualität auf den Lernerfolg.

Es wurden lediglich Tendenzen ermittelt, dass eine hohe Lernzielorientierung den Zugewinn an Wissen vom Prä- zum Posttestzeitpunkt bei externalen Lernzielen im Vergleich zu einer geringen Lernzielorientierung geringfügig fördern kann. Bei Problemlösezielen führte eine hohe Lernzielorientierung nicht zu einem signifikanten Zugewinn an Wissen. Die Ergebnisse zur siebten Fragestellung weisen darauf hin, dass die lernerfolgsbezogene Wirkung externaler Problemlöse- und Lernziele vom Ausmaß der internalen Lernzielorientierung nicht entscheidend abgeschwächt beziehungsweise verstärkt werden kann. Werden jedoch nur Probanden mit externalen Lernzielen und geringem Vorwissen betrachtet, zeigt sich, dass nur diejenigen unter ihnen, die ein hohes Ausmaß an Lernzielorientierung haben, einen bedeutsamen Zugewinn an Wissen mit zufriedenstellender praktischer Bedeutsamkeit aufweisen.

### **6.3.5 Weitere Analysen zu den Fragestellungen**

In diesem Kapitel werden in Abschnitt 6.3.5.1 über die bereits berichteten Ergebnisse der experimentellen Studie hinaus Varianzanteile berichtet, die *nur bei Problemlösezielen* durch den Faktor Zielspezifität und die Kovariaten im Wissenszuwachs, im *cognitive load* und in der Strategienutzung aufgeklärt werden. Hierfür wurde eine einfaktorielle Kovarianzanalyse nur für diese Substichprobe (EG1+EG2) durchgeführt, mit der Zielspezifität als Faktor (spezifische vs. unspezifische Problemlöseziele) und den Kovariaten Vorwissen, Intelligenz, aktuelle Motivation, Interesse und Lernzielorientierung

in dieser Reihenfolge. Bei den Kovariaten wird insbesondere die Lernzielorientierung betrachtet. In Abschnitt 6.3.5.2 erfolgt dies analog nur für Lernziele.

#### **6.3.5.1 Varianzaufklärung durch Zielspezifität und Kovariaten bei Problemlösezielen**

Wie Tabelle 21 (S. 146) ausweist, klärt der Faktor Zielspezifität in jedem Modell an den jeweiligen abhängigen Variablen den höchsten Varianzanteil auf ( $.24 \geq \eta^2 \geq .06$ ;  $p < .001$  bis  $p = .011$ ). Die aktuelle Motivation sagt mit drittplatzierte Position als Kovariate nur am Wissenszuwachs (Modell 1) einen bedeutsamen Varianzanteil vorher ( $p = .017$ ,  $\eta^2 = .05$ ). Das Interesse am Unterrichtsfach Physik klärt nur im *cognitive load* einen signifikanten Teil an interpersonalen Unterschieden auf ( $p = .016$ ,  $\eta^2 = .05$ ). Die letztplatzierte Kovariate Lernzielorientierung erklärt keinen signifikanten Varianzanteil im Wissenszuwachs ( $p = .055$ ,  $\eta^2 = .03$ ; Lernzielorientierung als Kovariate an erster Stelle:  $p = .017$ ,  $\eta^2 = .05$ ), und auch nicht im *cognitive load* ( $p = .096$ ,  $\eta^2 = .03$ ).

Interessant ist, dass eine hohe interne Lernzielorientierung nur bei Probanden mit unspezifischen Problemlösezielen statistisch bedeutsam mit einem geringeren *cognitive load* in der Explorationsphase einherging ( $N = 59$ ,  $r = -.36$ ,  $p = .007$ ), bei Probanden mit spezifischen Problemlösezielen jedoch nicht ( $N = 56$ ,  $r = .01$ ,  $p = .948$ ). Der statistische Signifikanztest für den Unterschied zwischen den beiden Korrelationskoeffizienten (vgl. Diehl & Arbinger, 1992) aus den beiden recht kleinen Substichproben zeigt auch zweiseitig getestet ein signifikantes Ergebnis ( $Z = 2.02$ ,  $p = .039$ ). Der Interaktionseffekt von Zielspezifität bei Problemlösezielen und dem Ausmaß der Lernzielorientierung auf den *cognitive load* liegt auf der Signifikanzgrenze ( $F_{(1, 104)} = 3.81$ ,  $p = .050$ ,  $\eta^2 = .04$ ). Der Spezifitätsgrad bei Problemlösezielen moderiert offenbar zumindest tendenziell den Zusammenhang zwischen Lernzielorientierung und *cognitive load*.

Über eine Kommunalitätenanalyse *nur bei Problemlösezielen* wurde ermittelt, wie viel spezifische Varianz der Prädiktor Lernzielorientierung allein an der abhängigen Variable des Wissenszuwachses im Verhältnis zu den restlichen drei Kovariaten aufklärt. Im Ergebnis gehen 45% der insgesamt durch alle vier Kovariaten am Wissenszuwachs erklärten Varianz nur auf die drei Kovariaten Intelligenz, aktuelle Motivation und Interesse unter Auspartialisierung der Lernzielorientierung zurück. Der spezifische Anteil an dieser durch alle vier Kovariaten aufgeklärten Varianz am Wissenszuwachs, der nur auf die Lernzielorientierung zurückgeht (unter Auspartialisierung der drei anderen Kovariaten), beträgt 27%, der durch alle vier Kovariaten gemeinsam erklärte Anteil liegt bei 28%.

**Tabelle 21:** Varianzaufklärung zu den Fragestellungen 3 bis 5 (Nur Problemlöseziele)

| <i>Modell 1:</i>                   |            | <i>Abhängige Variable: Wissenszuwachs*</i> |      |      |      |                     |
|------------------------------------|------------|--|------|------|------|---------------------|
|                                    | SS (Typ 1) | df   | MS   | F    | p    | Partielles $\eta^2$ |
| Intelligenz (Kovariate 1)          | 2.78       | 1  | 2.78 | 3.97 | .049 | .04                 |
| Aktuelle Motivation (Kovariate 2)  | 4.14       | 1  | 4.14 | 5.92 | .017 | .05                 |
| Interesse (Kovariate 3)            | .16        | 1  | .16  | .23  | .636 | <.01                |
| Lernzielorientierung (Kovariate 4) | 2.64       | 1  | 2.64 | 3.78 | .055 | .03                 |
| Zielspezifität (Faktor)            | 4.98       | 1  | 4.98 | 7.12 | .009 | .06                 |
| Fehler                             | 76.220     | 109  | .70  |      |      |                     |
| Gesamt                             | 93.426     | 115  |      |      |      |                     |

R-Quadrat = .16 (Korrigiertes R-Quadrat = .12)

| <i>Modell 2:</i>                   |            | <i>Abhängige Variable: Cognitive load</i> |     |      |      |                     |
|------------------------------------|------------|---|-----|------|------|---------------------|
|                                    | SS (Typ 1) | df  | MS  | F    | p    | Partielles $\eta^2$ |
| Vorwissen (Kovariate 1)            | .05        | 1   | .05 | 1.23 | .271 | .01                 |
| Intelligenz (Kovariate 2)          | .08        | 1   | .08 | 1.96 | .165 | .02                 |
| Aktuelle Motivation (Kovariate 3)  | .07        | 1   | .07 | 1.64 | .204 | .02                 |
| Interesse (Kovariate 4)            | .21        | 1   | .24 | 5.23 | .016 | .05                 |
| Lernzielorientierung (Kovariate 5) | .11        | 1   | .11 | 2.83 | .096 | .03                 |
| Zielspezifität (Faktor)            | .27        | 1   | .27 | 6.76 | .011 | .06                 |
| Fehler                             | 4.19       | 105                                       | .04 |      |      |                     |
| Gesamt                             | 33.59      | 112                                       |     |      |      |                     |

R-Quadrat = .16 (Korrigiertes R-Quadrat = .12)

| <i>Modell 3:</i>                   |            | <i>Abhängige Variable: Strategienutzung</i> |      |       |       |                     |
|------------------------------------|------------|---|------|-------|-------|---------------------|
|                                    | SS (Typ 1) | df  | MS   | F     | p     | Partielles $\eta^2$ |
| Vorwissen (Kovariate 1)            | < .01      | 1   | <.01 | .00   | .987  | .00                 |
| Intelligenz (Kovariate 2)          | < .01      | 1   | <.01 | .37   | .546  | .01                 |
| Aktuelle Motivation (Kovariate 3)  | < .01      | 1   | <.01 | <.01  | .957  | .00                 |
| Interesse (Kovariate 4)            | .02        | 1   | .02  | 2.34  | .131  | .04                 |
| Lernzielorientierung (Kovariate 5) | < .00      | 1   | <.01 | .07   | .787  | .01                 |
| Zielspezifität (Faktor)            | .13        | 1   | .13  | 18.89 | <.001 | .24                 |
| Fehler                             | .405       | 61  | <.01 |       |       |                     |
| Gesamt                             | 4.47       | 68  |      |       |       |                     |

R-Quadrat = .26 (Korrigiertes R-Quadrat = .19)

*Anmerkungen:* \*Die Kovariate Vorwissen wurde bei der abhängigen Variable Wissenszuwachs nicht berücksichtigt, da letztere bereits vorwissensbereinigt ist; SS = *sum of square* (Quadratsumme); df = Freiheitsgrade; MS = *mean square* (mittleres Abweichungsquadrat); p = Signifikanz.

Zusammenfassend erklärte die Zielspezifität als Faktor bei Problemlösezielen (spezifische vs. unspezifische Problemlöseziele) in den abhängigen Variablen Wissenszuwachs (7%), *cognitive load* (6%) und Strategienutzung (24%) den höchsten Varianzanteil, verglichen mit den Kovariaten.

### 6.3.5.2 Varianzaufklärung durch Zielspezifität und Kovariaten bei Lernzielen

Auch für den Vergleich von spezifischen mit unspezifischen Lernzielen wurde analog zu Abschnitt 6.3.5.1 (vgl. Tabelle 21) herausgestellt, wie viel Varianz der jeweils abhängigen Variablen vom Faktor Zielspezifität nur bei Lernzielen (EG1+EG2; spezifische vs. unspezifische Lernziele) neben den Kontrollvariablen aufgeklärt werden kann (siehe Tabelle 22, S. 148).

Die Zielspezifität als Faktor klärt erwartungsgemäß keine Varianz in den abhängigen Variablen Wissenszuwachs und Häufigkeit in der Strategienutzung auf (Modelle 1 und 3), was die Annahme, dass die Zielspezifität bei Lernzielen keine lernerfolgsbezogene Rolle spielt, untermauert. Die Zielspezifität erklärt jedoch nicht nur bei Problemlösezielen, sondern auch bei Lernzielen einen substanziellen Varianzanteil im *cognitive load* ( $p < .001$ ,  $\eta^2 = .17$ ). Das deklarativ-konzeptuelle Vorwissen als Kovariate erklärt, anders als bei Problemlösezielen, bei Lernzielen sowohl im *cognitive load* als auch in der Strategienutzung einen signifikanten Varianzanteil ( $p = .031$ ,  $\eta^2 = .04$ ;  $p = .005$ ,  $\eta^2 = .11$ ). Korrelationen nur in der Substichprobe der Probanden mit Lernzielen (EG3+EG4) zeigen, dass ein hohes Vorwissen mit einer häufigen Strategienutzung ( $N = 76$ ,  $r = .32$ ,  $p = .006$ ; vgl. Kapitel 5), tendenziell mit einem eher geringeren *cognitive load* in der Explorationsphase ( $N = 110$ ,  $r = -.19$ ,  $p = .046$ ) und mit einem höheren Wissen zum Posttest-Zeitpunkt ( $N = 113$ ,  $r = .31$ ,  $p = .001$ ) einhergeht.

Auf die Intelligenz sind statistisch signifikante Unterschiede in der abhängigen Variable Wissenszuwachs ( $p < .001$ ,  $\eta^2 = .10$ ) zurückzuführen. Das Ausmaß an Lernzielorientierung erklärt unter Vorgabe von externalen Lernzielen mit 4% keinen bedeutsamen Varianzanteil im Wissenszuwachs ( $p = .051$ ,  $\eta^2 = .04$ ). Die aktuelle Motivation erklärt nur in der Strategienutzung ( $p = .027$ ,  $\eta^2 = .07$ ) und das Interesse in keiner abhängigen Variable einen bedeutsamen Varianzanteil auf.

Eine wiederum durchgeführte Kommunalitätenanalyse *nur bei Lernzielen* zeigt, dass 61,3% der insgesamt durch alle vier Kovariaten am Wissenszuwachs erklärten Varianz nur auf die drei Kovariaten Intelligenz, aktuelle Motivation und Interesse unter Auspartialisierung der Lernzielorientierung zurückgehen. Der spezifische Anteil an dieser durch alle vier Kovariaten aufgeklärten Varianz am Wissenszuwachs, der nur auf die Lernzielorientierung zurückgeht (unter Auspartialisierung der drei anderen Kovariaten), beträgt hier 22,4%, der durch alle vier Kovariaten gemeinsam erklärte Anteil beträgt 16,3%.

**Tabelle 22:** Varianzaufklärung zu Fragestellung 6 (Nur Lernziele)

| <i>Modell 1: Abhängige Variable: Wissenszuwachs*</i> |            |     |       |       |       |                     |
|--|------------|-----|-------|-------|-------|---------------------|
|  | SS (Typ 1) | df  | MS    | F     | p     | Partielles $\eta^2$ |
| Intelligenz (Kovariate 1)                            | 12.30      | 1   | 12.30 | 11.58 | <.001 | .10                 |
| Aktuelle Motivation (Kovariate 2)                    | 2.50       | 1   | 2.50  | 2.35  | .128  | .02                 |
| Interesse (Kovariate 3)                              | .33        | 1   | .33   | .31   | .581  | <.01                |
| Lernzielorientierung (Kovariate 4)                   | 4.16       | 1   | .31   | 3.91  | .051  | .04                 |
| Zielspezifität (Faktor)                              | < .01      | 1   | 3.91  | < .01 | .947  | .00                 |
| Fehler   | 114.76     | 108 | <.01  |       |       |                     |
| Gesamt   | 136.01     | 114 |       |       |       |                     |

R-Quadrat = .16 (Korrigiertes R-Quadrat = .12)

| <i>Modell 2: Abhängige Variable: Cognitive load</i> |            |     |      |       |       |                     |
|---|------------|-----|------|-------|-------|---------------------|
|   | SS (Typ 1) | df  | MS   | F     | p     | Partielles $\eta^2$ |
| Vorwissen (Kovariate 1)                             | .14        | 1   | .144 | 4.79  | .031  | .04                 |
| Intelligenz (Kovariate 2)                           | .10        | 1   | .10  | 3.29  | .073  | .03                 |
| Aktuelle Motivation (Kovariate 3)                   | < .01      | 1   | <.01 | .04   | .841  | .00                 |
| Interesse (Kovariate 4)                             | .00        | 1   | <.01 | .06   | .800  | <.01                |
| Lernzielorientierung (Kovariate 5)                  | < .01      | 1   | <.01 | .01   | .920  | .00                 |
| Zielspezifität (Faktor)                             | .63        | 1   | .625 | 20.76 | <.001 | .17                 |
| Fehler  | 3.13       | 104 | .03  |       |       |                     |
| Gesamt  | 35.93      | 111 |      |       |       |                     |

R-Quadrat = .16 (Korrigiertes R-Quadrat = .12)

| <i>Modell 3: Abhängige Variable: Strategienutzung</i> |            |    |      |      |      |                     |
|---|------------|----|------|------|------|---------------------|
|   | SS (Typ 1) | df | MS   | F    | p    | Partielles $\eta^2$ |
| Vorwissen (Kovariate 1)                               | .10        | 1  | .102 | 8.42 | .005 | .11                 |
| Intelligenz (Kovariate 2)                             | < .01      | 1  | <.01 | .21  | .648 | <.01                |
| Aktuelle Motivation (Kovariate 3)                     | .06        | 1  | .06  | 5.13 | .027 | .07                 |
| Interesse (Kovariate 4)                               | .01        | 1  | .01  | .38  | .540 | .01                 |
| Lernzielorientierung (Kovariate 5)                    | .02        | 1  | .02  | 1.62 | .208 | .02                 |
| Zielspezifität (Faktor)                               | < .01      | 1  | <.01 | .04  | .834 | <.01                |
| Fehler  | .83        | 69 | .01  |      |      |                     |
| Gesamt  | 5.24       | 76 |      |      |      |                     |

R-Quadrat = .26 (Korrigiertes R-Quadrat = .19)

*Anmerkungen:* \*Die Kovariate Vorwissen wurde bei der abhängigen Variable Wissenszuwachs nicht berücksichtigt, da letztere bereits vorwissensbereinigt ist; SS = *sum of square* (Quadratsumme); df = Freiheitsgrade; MS = *mean square* (mittleres Abweichungsquadrat); p = Signifikanz.

Bei Lernzielen erklärte die Zielspezifität (spezifische vs. unspezifische Lernziele) als Faktor hingegen nur in der abhängigen Variablen *cognitive load* überhaupt einen bedeutsamen, aber auch den größten Varianzanteil (17%). Das Ausmaß an Lernzielorientierung erklärt in dieser Substichprobe als letztplatzierte Kovariate 4% der Varianz im Wissenszuwachs.

## 6.4 Diskussion der experimentellen Studie

*Überblick.* Die Diskussion der experimentellen Studie folgt in ihrer Gliederung dem Ergebnisteil. Zunächst werden in Kapitel 6.4.1 die korrelativen Ergebnisse hinsichtlich der Hinweise auf die Zuverlässigkeit und Validität der adaptierten beziehungsweise entwickelten Instrumente für die Wissenstests, das Strategiemaß, die Lernzielorientierung und den *cognitive load* berichtet. In Kapitel 6.4.2 werden die Befunde zu den experimentellen Fragestellungen als jeweils separater Abschnitt diskutiert. Da die Ergebnisse in Kapitel 6.3.5 auf zusätzlichen Analysen zu den Fragestellungen hinsichtlich der kovarianzanalytischen Varianzaufklärung beruhen, werden sie nicht separat diskutiert, sondern je nach Passung in die jeweiligen Fragestellungen integriert.

### 6.4.1 Adaptierte und entwickelte Instrumente

*Wissenstests.* Die ausgehend von der korrelativen Studie an die experimentelle Studie adaptierten Instrumente zur Erfassung des deklarativ-konzeptuellen Vorwissens (Prätest), des deklarativ-konzeptuellen Wissenserwerbs (Posttest) und der Leistung bei der Wissensanwendung verfügen über eine akzeptable Reliabilität (Cronbachs  $\alpha = .60$ ;  $.76$ ;  $.87$ ). Aus den zwei deklarativ-konzeptuellen Wissenstests wurde der residuale (vorwissensbereinigte) Wissenszuwachs gebildet, der sich als geeignetes Maß zur Erfassung des von Zielvorgaben abhängigen Erfolgs beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren herausstellte. Sowohl das deklarativ-konzeptuelle Vorwissen als auch das deklarativ-konzeptuelle Wissen zum Posttest-Zeitpunkt korrelieren signifikant mit der Leistung im Wissensanwendungstest ( $r = .34$  bzw.  $r = .37$ ;  $p < .001$ ). Zudem korrelieren beide Maße sowie das aus ihnen entwickelte Maß für den Wissenszuwachs nicht hoch, aber statistisch bedeutsam mit der Intelligenz (z.B.  $r = .34$ ,  $p < .001$ ), mit der aktuellen Motivation (z.B.  $r = .29$ ,  $p < .001$ ) und, bis auf das Vorwissen, mit der Lernzielorientierung (z.B.  $r = .20$ ,  $p = .002$ ). Somit gibt es auch für die auf der korrelativen Studie aufbauend weiterentwickelten Instrumente einen ersten Hinweis auf ihre Konstruktvalidität. Jedoch hängt nur die Leistung im Wissensanwendungstest positiv mit dem Interesse am Unterrichtsfach Physik (z.B.  $r = .23$ ,  $p = .005$ ) zusammen. Wahrscheinlich waren eher nur die am Physikunterricht interessierten Schüler motiviert, den Wissensanwendungstest zum Schluss der Erhebung noch konzentriert zu bearbeiten.

*Computerbasiertes Maß für die Strategienutzung.* Im Vergleich zur korrelativen Studie ist die Reliabilität des computerbasierten Maßes für die Strategienutzung in der experimentellen Studie geringer, aber noch akzeptabel (Cronbachs  $\alpha = .80$  vs. Cronbachs  $\alpha = .60$ ). Eine hohe Strategienutzung ging auch in der experimentellen Studie

statistisch bedeutsam mit einem hohen deklarativ-konzeptuellen Wissen zum Posttestzeitpunkt, einer hohen Leistung im Wissensanwendungstest und mit einem hohen Wissenszuwachs einher ( $r = .29, p < .001$ ;  $r = .20, p = .018$ ;  $r = .24, p = .005$ ). Das in Kapitel 6.2.6 dargestellte Strukturmodell (Abbildung 17) umfasst statt aller erhobenen Variablen nur die Strategienutzung und die Lernzielorientierung als Prädiktoren sowie den Wissenszuwachs und die Leistung bei der Wissensanwendung als abhängige Variablen, da sonst die der Stichprobengröße angemessene Modellkomplexität überschritten worden wäre (vgl. Kapitel 5.3.2). Das Modell spiegelt zum einen wider, dass das bereits für die korrelative Studie entwickelte Maß für die Erfassung der Strategienutzung (Abschnitte 5.2.3.1 und 6.2.5.4, vgl. Künsting et al., im Druck) auch als an die experimentelle Studie adaptierte Version den Wissenszuwachs bedeutsam vorhersagen kann ( $\beta = .46, p < .001$ ). Zum anderen erweist sich in demselben Strukturmodell auch das für die experimentelle Studie entwickelte Fragebogenmaß zur Erfassung des Ausmaßes an Lernzielorientierung als schwacher, aber statistisch signifikanter Prädiktor für den Wissenszuwachs ( $\beta = .25, p = .005$ ). Beide exogenen Variablen leisten in diesem Modell einen eigenständigen Beitrag zur Vorhersage des Wissenszuwachses, jedoch ist ihre latente Korrelation untereinander nicht signifikant.

*Internale Lernzielorientierung.* Der Fragebogen zeigt für alle vier *separaten* Skalen eine akzeptable Reliabilität ( $.81 \geq \text{Cronbachs } \alpha \geq .68$ ). Die bedeutsam negative Korrelation zwischen Lernziel- und Problemlösezielorientierung als separate Skalen ( $r = -.62, p < .001$ ) stützt die Annahme zweier entgegengesetzter Pole einer Dimension. Die vermutete tendenzielle Konstruktnähe der Problemlösezielorientierung zu den beiden Polen der Leistungszielorientierung (Annäherungs-Leistungszielorientierung und Vermeidungs-Leistungszielorientierung; Elliot, 1999; Elliot und Harakiewicz, 1996; vgl. Kapitel 6.2.6) wurde ebenfalls bestätigt. Diese beiden Skalen der Leistungszielorientierung hängen jeweils positiv mit der Skala Problemlösezielorientierung zusammen ( $r = .22, p = .001$ ;  $r = .34, p < .001$ ), die ihrerseits den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs erwartungskonform nicht begünstigte ( $r = -.22, p = .001$ ).

Aus ökonomischen Gründen wurde die Problemlösezielorientierungsskala invertiert und mit der Lernzielorientierungsskala zu einer *Gesamtskala zur Erfassung des Ausmaßes an Lernzielorientierung* zusammengefasst (Cronbachs  $\alpha = .87$ ). Der Zusammenhang dieser Gesamtskala mit Annäherungs-Leistungszielorientierung ist unbedeutend ( $r = -.09, p = .175$ ) und mit der Vermeidungs-Leistungszielorientierung sogar signifikant negativ ( $r = -.28, p < .001$ ). Eine hohe Lernzielorientierung ging als motivationale Variable erwartungsgemäß tendenziell mit hoher aktueller Motivation ( $r = .24, p < .001$ ) und hohem Interesse ( $r = .28, p < .001$ ) einher. Die Korrelation des Ausmaßes an Lernzielorientierung mit dem Wissenszuwachs ist schwach, aber statistisch bedeutsam ( $r = .20, p = .002$ ).



Ein möglicher Grund für die nicht starken Zusammenhänge des Ausmaßes an Lernzielorientierung mit dem Wissenszuwachs (vgl. auch das oben berichtete Strukturmodell) liegt in der dispositionalen Eigenschaft des Konstrukts Lernzielorientierung (Kapitel 2.4.1; vgl. Ames & Archer, 1988; Elliot & Dweck, 1988; Nicholls; 1984, 1992). Den Einfluss einer solchen stabilen Zielorientierung in Form eines Personenmerkmals in „Konkurrenz“ zu externalen Zielvorgaben auf den Lernerfolg zu prüfen war zwar auch intendiert. Jedoch wurde in dieser Arbeit nur eine einmalige Lerngelegenheit von 20 Minuten mit nur einem themenspezifischen Inhaltsbereich gegeben. Selbst wenn eine im Allgemeinen überwiegende Lernzielorientierung als Personenmerkmal vorliegt, so wird sie sich nicht zwangsläufig über alle erdenklichen Inhaltsbereiche erstrecken.

Zusammenfassend dient dieses erwartete, wenn auch nicht sehr starke Korrelationsmuster als erster Hinweis auf die Konstruktvalidität des im Zuge dieser Arbeit entwickelten Fragebogens für Zielorientierungen.

*Cognitive load.* Auch mit der aus elf Items konstruierten Skala zur Messung des *cognitive load* liegt ein reliables Instrument vor (Cronbachs  $\alpha = .88$ ). Eine von den Schülern selbst eingeschätzte hohe kognitive Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses geht geringfügig mit einem geringen Vorwissensniveau einher ( $r = -.14$ ,  $p = .037$ ). Insofern kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit nur von einer schwachen Tendenz dafür gesprochen werden, dass Probanden mit hohem Vorwissen einen geringeren *cognitive load* während der Explorationsphase aufwiesen als Probanden mit geringem Vorwissen (vgl. Kapitel. 3.4.2). Je geringer die Intelligenz und die Anzahl insgesamt durchgeführter Experimente waren, desto kognitiv anspruchsvoller wurde die 20-minütige Explorationsphase tendenziell eingeschätzt ( $r = -.18$ ,  $p = .006$ ;  $r = -.20$ ,  $p = .019$ ). Die Leistung im Wissensanwendungstest fiel eher schlechter aus, wenn ein hoher *cognitive load* in der Explorationsphase vorausging ( $r = -.28$ ,  $p = .001$ ).

Aus diesen Tendenzen lassen sich jedoch keine eindeutigen Schlussfolgerungen ziehen, so dass es bei Interpretationen bleiben muss: Der *cognitive load* wurde als von externalen Zielvorgaben abhängige Variable gemessen, und ein hohes Maß an selbst eingeschätztem *cognitive load* kann sowohl eine hohe wahrgenommene Aufgabenkomplexität (*intrinsic load*) als auch eine hohe Lerninvestition (*germane load*) indizieren (vgl. z.B. Paas et al., 2004).

## **6.4.2 Zu den Befunden der experimentellen Fragestellungen**

### **6.4.2.1 Zum Vergleich von Zielqualität und Zielspezifität**

*Lernerfolg - Zielqualität und Lernerfolg.* Eine wesentliche Frage, die durch die experimentelle Studie der vorliegenden Arbeit beantwortet werden sollte, war, ob die

Zielqualität (Lern- vs. Problemlöseziele) für den Lernerfolg eine größere Rolle spielt als die Zielspezifität (spezifische vs. unspezifische Ziele). Dabei wurde zunächst die Hypothese überprüft, ob Lernziele insgesamt lernförderlicher sind als Problemlöseziele. Der Haupteffekt der 2 x 2-faktoriellen ANCOVA für den Faktor Zielqualität bestätigte diese Hypothese: Lernziele führten zu einem statistisch bedeutsam höheren deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs als Problemlöseziele. Der neben den Kovariaten durch den Faktor erklärte Varianzanteil im Wissenszuwachs ist zwar schwach, aber statistisch bedeutsam ( $p = .018$ ,  $\eta^2 = .02$ ). Für die Leistung im Wissensanwendungstest zeigt sich jedoch kein signifikanter Unterschied. In Kapitel 7.2. werden die in dieser Arbeit generell ausgebliebenen Gruppenunterschiede hinsichtlich der Wissensanwendung eingehend als inkonsistente Befunde diskutiert.

*Zielspezifität und Lernerfolg.* Ebenfalls resultiert aus der experimentellen Studie erwartungsgemäß ein nicht signifikanter Haupteffekt der 2 x 2-faktoriellen ANCOVA für den Faktor Zielspezifität: Spezifische und unspezifische Ziele führten zu keinem bedeutsamen Unterschied im deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs ( $p = .084$ ,  $\eta^2 = .01$ ). Der Interaktionseffekt der Faktoren Zielspezifität und Zielqualität auf den Wissenszuwachs als Lernerfolg ist schwach, aber einseitig signifikant ( $p = .042$ ,  $\eta^2 = .01$ ). Dieser Interaktionseffekt veranschaulicht, dass unspezifische Ziele erwartungsgemäß nur bei Problemlösezielen zu einem bedeutsam höheren Lernerfolg führten als spezifische Ziele, während die Spezifität bei Lernzielen keine Rolle für den Lernerfolg spielte (Tabellen 19 und 20, S. 135 bzw. S. 136; Abbildung 18, S. 132).

*Vergleich der Haupteffekte von Zielspezifität und Zielqualität.* Zwar wurde erwartungsgemäß nur für den Faktor Zielqualität ein signifikanter Haupteffekt auf den Wissenszuwachs gefunden, nicht aber für den Faktor Zielspezifität. Jedoch ergab die Prüfung auf eine bedeutsame Unterschiedlichkeit der Effektstärken (Ronis, 1981) kein signifikantes Ergebnis: Die Zielqualität ist nicht *bedeutsam* relevanter für den Wissenszuwachs als die Zielspezifität (siehe Kapitel 6.3.1). Ein Grund dafür wird sein, dass sich die Zielspezifität zwar nicht bei Lernzielen, aber bei Problemlösezielen als substanziell relevant für den Wissenszuwachs erwies (siehe Kapitel 4.2, 6.3.2 und 6.3.3).

*Cognitive load - Zielqualität und cognitive load.* Die Annahme, dass Problemlöseziele keinen signifikant höheren *cognitive load* auferlegen als Lernziele, stellte sich als zutreffend heraus. Der Mittelwert für den *cognitive load* fällt bei Lernzielen mit  $M = .53$  ( $SD = .19$ ) zwar nur unwesentlich, aber sogar leicht höher als bei Problemlösezielen aus ( $M = .51$ ;  $SD = .21$ ). Da Lernziele aber insgesamt zu einem signifikant höheren deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs führten als Problemlöseziele, legt das die Vermutung nahe, dass Lernziele zwar eine mindestens genauso hohe kognitive Belastung auslösen können wie Problemlöseziele. Jedoch scheint die kognitive

Kapazität bei Lernzielen stärker in deklarativ-konzeptuelle Lernprozesse (*germane load*) investiert worden zu sein (vgl. Paas & van Gog, 2006) als unter Problemlösezielen, welche die kognitive Kapazität stärker an Problemlöseprozesse gebunden haben werden. Diese Interpretation kann jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht geprüft werden (vgl. Abschnitt 6.4.2.3).

*Zielspezifität und cognitive load.* Anders als die Zielqualität erwies sich die Rolle der Zielspezifität insgesamt als bedeutsam für den *cognitive load* und erklärte einen statistisch bedeutsamen Varianzanteil in dieser abhängigen Variable ( $p < .001$ ,  $\eta^2 = .11$ ). Die *metakognitiven* Anforderungen der Selbstregulation von Lernprozessen sollten eigentlich bei unspezifischen Zielvorgaben höher sein als bei spezifischen Zielvorgaben: Unspezifische Zielvorgaben, die offen lassen, welcher konkrete Teil der Experimentierumgebung mit welcher Relation sinnvoll zu explorieren ist, strukturieren die Experimentierumgebung weitaus weniger vor als spezifische Zielvorgaben, die jede lernerfolgsrelevante Relation konkret präsentieren. Unspezifische Ziele bewirkten in der vorliegenden Untersuchung insgesamt jedoch einen geringeren *cognitive load* als spezifische Ziele. Zwar sind die unspezifischen Ziele dieser Arbeit jeweils komplexer, da das Erreichen eines unspezifischen Ziels die Exploration von mehr Variablen erfordert als das Erreichen eines spezifischen Ziels. Jedoch könnte die größere Anzahl an im Arbeitsgedächtnis zu verarbeitenden (auch zu lesenden) spezifischen Zielvorgaben (14) im Vergleich zu unspezifischen Zielvorgaben (3) dazu beigetragen haben, dass spezifische Ziele insgesamt einen höheren *cognitive load* auferlegten als unspezifische Ziele.

*Strategienutzung - Zielqualität und Strategienutzung.* Nicht belegt werden konnte die Hypothese, dass Lernziele eine bedeutsam häufigere Strategienutzung der isolierenden Variablenkontrolle bewirken als Problemlöseziele. Dies konfligiert mit den Befunden der Arbeit von Archer (1994; vgl. Elliot & McGregor, 2001), in der positive Zusammenhänge zwischen der Übernahme von Lernzielen und dem Selbstbericht über die Nutzung von Strategien des selbstregulierten Lernens gefunden wurden (vgl. auch Wolters, 2004; siehe Kapitel 2.4.2). Ob und bis zu welchem Grad die in der vorliegenden Studie external gesetzten Lernziele übernommen wurden, konnte im Rahmen der Datenerhebung aus Gründen der Testbelastung jedoch nicht geprüft werden.

Die Nutzungshäufigkeit der Lernstrategie der isolierenden Variablenkontrolle erwies sich auch in der experimentellen Studie als substanzieller Prädiktor für den Lernerfolg ( $\beta = .46$ ,  $p < .001$ ; vgl. Abbildung 17, Kapitel 6.2.6). Aber obwohl Lernziele lernförderlicher wirkten als Problemlöseziele, führten beide zu einer gleich häufigen Strategienutzung. Das legt die Vermutung nahe, dass nicht nur die *Nutzungshäufigkeit*, sondern, insbesondere bei Lernzielen, auch die *Nutzungsqualität* einer Lernstrategie eine Rolle für den Lernerfolg spielt (vgl. Leutner & Leopold, 2002a, 2003, 2006). Die Lernziele in dieser

Arbeit beinhalteten nicht nur die Aufforderung zum Identifizieren (herauszufinden, wie Variablen zusammenhängen), sondern auch die Aufforderung zum Integrieren (sich zu merken, was herausgefunden wurde). Die durch Lernziele geforderte Identifikation von Informationen könnte zu effizienteren induktiven Denkprozessen geführt haben, indem sie bewirkten, dass aus den Ergebnissen systematisch durchgeführter Experimente häufiger richtige Schlussfolgerungen gezogen wurden. Die durch Lernziele geforderte Integration von Informationen kann zudem zu einer stärkeren Nutzung weiterer kognitiver Lernstrategien angeregt haben, wie zum Beispiel Wiederholungsstrategien. Der Einsatz von strategisch wiederholenden Eingriffen während der 20-minütigen Explorationsphase konnte in der vorliegenden Studie aufgrund der erwähnten technischen Probleme während der Datenerhebung nicht zuverlässig den Logfiles entnommen werden. Die lernerfolgsbezogenen Unterschiede zwischen den Gruppen sprechen jedoch für diese Interpretation.

*Zielspezifität und Strategienutzung.* Unspezifische Ziele belasteten nicht nur das Arbeitsgedächtnis bedeutsam geringer, sondern bewirkten zudem eine bedeutsam häufigere Strategienutzung als spezifische Ziele. Entsprechend erklärt die Zielspezifität einen bedeutsamen Varianzanteil in der Strategienutzung ( $p = .004$ ,  $\eta^2 = .06$ ).

*Interaktionseffekt von Zielspezifität und Zielqualität auf die Strategienutzung.* Die 2 x 2-faktorielle ANCOVA zeigt eine bedeutsame Interaktion der Faktoren Zielqualität und Zielspezifität bezogen auf die Strategienutzung ( $p = .008$ ): Bei spezifischen Zielen (spezifische Lern- und Problemlöseziele) wurde die isolierende Variablenkontrolle unter spezifischen Lernzielen nur tendenziell häufiger genutzt als unter spezifischen Problemlösezielen, während es bei unspezifischen Zielen (unspezifische Lern- und Problemlöseziele) deutlicher ausgeprägt umgekehrt war (kovarianzanalytischer Einfachkontrast:  $p = .013$ ,  $d = .50$ ). Dass jedoch unspezifische Lernziele trotzdem einen tendenziell höheren deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg bewirkten als unspezifische Problemlöseziele, verweist wieder auf den Aspekt der Nutzungsqualität (siehe S. 153).

Aus einer anderen Perspektive wird deutlich, dass Probanden mit unspezifischen Lernzielen nur unwesentlich häufiger die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle nutzten als Probanden mit spezifischen Lernzielen. Bei Problemlösezielen dagegen bewirkten unspezifische Problemlöseziele eine signifikant häufigere Strategienutzung als spezifische Problemlöseziele. Das spricht wiederum, begrenzt auf Problemlöseziele, für Swellers (1988, 1994) Interpretation, dass spezifische Problemlöseziele eher zur Anwendung der Mittel-Ziel-Analyse als Problemlösestrategie führen, während unspezifische Problemlöseziele eher lernrelevante Aufgabenaktivitäten bewirken. Möglicherweise lösten unspezifische Ziele insgesamt deshalb eine häufigere Strategienutzung als spezifische Ziele aus, weil sie den Probanden mehr Freiraum und Zeit pro Zielvorgabe zur Entfaltung selbstreguliert-entdeckender Lernprozesse gaben.

Probanden mit unspezifischen Zielen mussten sich in der Experimentierumgebung selbst aussuchen, *welche* konkreten Zusammenhänge sie explorieren wollten. Unspezifische Ziele grenzten den Komplexitätsspielraum der Experimentierumgebung kaum ein, so dass eine entsprechend große Anzahl an Hypothesen beziehungsweise Variablen offen standen, die strategisch sinnvoll zu testen beziehungsweise deren Zusammenhänge strategisch sinnvoll explorierbar waren. Je weniger eine Experimentier- oder Lernumgebung vorstrukturiert ist, desto höher sind auch die selbstregulativen Anforderungen an den Lerner (vgl. z.B. de Jong & van Joolingen, 1998; Rivers & Vockel, 1987; Veenman & Beishuizen, 2004; Veenman & Spaans, 2005). Dementsprechend waren die Probanden mit unspezifischen Zielvorgaben darauf angewiesen, eigenständig Hypothesen über Zusammenhänge zwischen Variablen zu bilden und systematische Experimente für deren Überprüfung zu planen (was ausreichend Lernmotivation und metakognitive Fähigkeiten voraussetzte). Dies hat möglicherweise zu einer stärkeren Aktivierung metakognitiven Strategiewissens und damit auch zu einer häufigeren Nutzung der kognitiven Strategie der isolierenden Variablenkontrolle geführt.

Probanden mit spezifischen Problemlösezielen hatten wenig Spielraum, um sich eigene Lernziele zur Exploration von Zusammenhängen zu setzen. Stattdessen wurden sie durch konkrete Aufforderungen dazu angehalten, spezifische situationale Zustände herzustellen, was möglicherweise verstärkt zum Einsatz des Versuch-Irrtum-Vorgehens und der Problemlösestrategie der Mittel-Ziel-Analyse geführt hat.

Probanden mit spezifischen Lernzielen wurden hingegen jeweils explizit dazu aufgefordert, einen konkret formulierten Zusammenhang herauszufinden. Ein hinreichendes Verständnis einer solchen Zielvorgabe vorausgesetzt, wird dies den Komplexitätsspielraum der Experimentierumgebung und somit die Anzahl strategisch sinnvoll explorierbarer Variablen eingegrenzt haben, was wiederum konkrete lernrelevante Hypothesen angeboten respektive deren Bildung erleichtert haben könnte.

Zudem boten spezifische Lern- und Problemlöseziele weniger Bearbeitungszeit als unspezifische Lern- und Problemlöseziele. Diese inhaltlich und zeitlich enge Fokussierung auf bestimmte zu explorierende Zusammenhänge könnte damit zu einem gezielteren, ökonomischeren und damit effizienteren Strategieeinsatz bei spezifischen Lernzielen geführt haben. Entsprechend korreliert bei der Gruppe von Probanden mit spezifischen Lernzielen die Strategienutzung höher mit dem deklarativ-konzeptuellen Wissen zum Posttestzeitpunkt ( $r = .41$ ,  $p = .012$ ) als bei der Gruppe von Probanden mit unspezifischen Lernzielen ( $r = .24$ ,  $p = .142$ ). Der Unterschied zwischen diesen Korrelationskoeffizienten ist jedoch auch einseitig nicht signifikant ( $Z = .18$ ,  $p = .179$ ).

Zusammenfassend konnte ein Zielqualitätseffekt nur für den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs nachgewiesen werden.

#### 6.4.2.2 Zielspezifität nur bei Problemlösezielen

*Spezifität von Problemlösezielen und Lernerfolg.* In Übereinstimmung mit Sweller (1988, 1994; vgl. Trumpower et al., 2004; Vollmeyer & Burns, 2002) konnte mit der Beantwortung der vierten Fragestellung dieser Arbeit der Zielspezifitätseffekt bezogen auf den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs repliziert werden: Im Einzelvergleich erwarben Probanden mit unspezifischen Problemlösezielen substanziell mehr deklarativ-konzeptuelles Wissen als Probanden unter spezifischen Problemlösezielen ( $d = .50$ ).

*Spezifität von Problemlösezielen und cognitive load.* Anknüpfend an die Replikation des Zielspezifitätseffekts wurde ebenfalls gezeigt, dass unspezifische Problemlöseziele einen bedeutsam geringeren, intro- und retrospektiv eingeschätzten *cognitive load* auferlegten als spezifische Problemlöseziele ( $p = .003$ ,  $d = .53$ ). Diese Ergebnisse stützen Swellers (1988, 1994) Interpretation, dass spezifische Problemlöseziele eine hohe kognitive Anforderung an eine Person stellen können, da sie den Einsatz der das Arbeitsgedächtnis belastenden Problemlösestrategie der Mittel-Ziel-Analyse auslösen. Eine doppelte Anforderung liegt vor, wenn durch die Person nicht nur Problemlöseprozesse, sondern gleichzeitig Lernprozesse initiiert werden (vgl. Sweller, 1988, 1994). Unspezifische Problemlöseziele lösen laut Sweller statt der Anwendung der Mittel-Ziel-Analyse vielmehr die Fokussierung lernrelevanter Aspekte einer Aufgabe aus, was in der vorliegenden Arbeit damit erklärt wird, dass sie einer Person genügend Freiheitsgrade bieten, um das unspezifische Problemlöseziel durch ein Lernziel zu ersetzen. In diesem Fall dürfte keine dual-task-Bedingung entstehen, weil Lernprozesse, die über ein selbst gesetztes Lernziel initiiert werden, nicht mit der Durchführung einer Mittel-Ziel-Analyse konkurrieren müssen. Allerdings lag für die vorliegende Arbeit kein computerbasiertes Instrument für die Messung des Einsatzes der Mittel-Ziel-Analyse vor, so dass die obigen Ausführungen (vorerst) eine Vermutung bleiben müssen.

Interessant ist, dass die Lernzielorientierung und der *cognitive load* in der Gruppe unspezifischer Problemlöseziele bedeutsam negativ korrelieren ( $r = -.36$ ,  $p = .007$ ), in der Gruppe spezifischer Problemlöseziele hingegen um Null ( $r = .01$ ,  $p = .948$ ). Der auch im zweiseitigen Test signifikante Unterschied zwischen diesen Korrelationskoeffizienten ( $Z = 2.02$ ,  $p = .017$ ) spricht dafür, dass eine hohe interne Lernzielorientierung (als dispositionales Personenmerkmal am Anfang der Untersuchung gemessen) nur bei Probanden mit unspezifischen Problemlösezielen zu einer geringeren kognitiven Belastung in der Explorationsphase führte (als situatives Personenmerkmal nach der Explorationsphase gemessen). Dies könnte zum einen damit zusammenhängen, dass *unspezifische* Problemlöseziele, anders als spezifische Problemlöseziele, aufgrund ihrer Freiheitsgrade eine Entfaltung der Lernzielorientierung durch die Person ermöglichen. Eine hohe interne Lernzielorientierung sollte das Setzen eigener Lernziele unter externalen unspezifischen Problemlösezielen begünstigen, was umso weniger

wahrscheinlich zum Einsatz der kognitiv belastenden Mittel-Ziel-Analyse führen sollte (die sich prinzipiell auch bei unspezifischen Problemlösezielen einsetzen ließe). Spezifische Problemlöseziele hingegen lassen das Setzen eigener Lernziele aufgrund ihrer stringenten Aufforderung zum konkreten Problemlösen kaum zu, so dass die durch eine hohe Lernzielorientierung bedingte Begünstigung des Setzens eigener Lernziele nicht zum Tragen kommt. Somit wäre die Wahrscheinlichkeit des Einsatzes der kognitiv belastenden Mittel-Ziel-Analyse bei spezifischen Problemlösezielen weitgehend unabhängig vom Ausmaß der Lernzielorientierung, was erklären könnte, dass in dieser Gruppe der *cognitive load* nicht mit der Lernzielorientierung korreliert.

*Spezifität von Problemlösezielen und Strategienutzung.* In dieser Arbeit gelang der empirische Nachweis nicht nur dafür, dass unspezifische Problemlöseziele einen höheren deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs und einen geringeren (unter Zielvorgaben erstmals empirisch gemessenen) *cognitive load* bewirken als spezifische Problemlöseziele: Ebenfalls lösten unspezifische Problemlöseziele im Vergleich zu spezifischen Problemlösezielen eine substanziell höhere Nutzungshäufigkeit der Lernstrategie der isolierenden Variablenkontrolle aus ( $d = .90$ ). Dieser empirische Beleg schließt eine Forschungslücke, da ein Zielspezifitätseffekt bisher nur hinsichtlich des Lernerfolgs nachgewiesen worden ist, nicht jedoch zusammen mit den lernerfolgsrelevanten abhängigen Variablen *cognitive load* und Strategienutzung *innerhalb* einer Studie. In der vorliegenden Arbeit erklärt die Zielspezifität bei Problemlösezielen (spezifische vs. unspezifische Problemlöseziele) in allen drei abhängigen Variablen einen bedeutsamen Varianzanteil ( $.24 \geq \eta^2 \geq .06$ ;  $p < .001$  bis  $p = .011$ ; siehe Abschnitt 6.3.5.1).

Für den Spezifitätsgrad bei Problemlösezielen wurde in dieser Arbeit eine indirekte Verantwortlichkeit für den Lernerfolg angenommen, weil sowohl spezifische als auch unspezifische Problemlöseziele zum Problemlösen, statt zum Lernen auffordern. Die Freiheitsgrade unspezifischer Problemlöseziele schaffen vielmehr Bedingungen für erfolgreiches Lernen, da sie eine lernzielorientierte Herangehensweise ermöglichen. Für diese lernziel- statt problemlösezielorientierte Herangehensweise wurde erwartet und nachgewiesen, dass sie zu einer entsprechend häufigeren Nutzung der für das selbstreguliert-entdeckende Lernen durch Experimentieren relevanten Lernstrategie der isolierenden Variablenkontrolle führen. Zudem geht eine häufige Strategienutzung nur bei unspezifischen Problemlösezielen substanziell mit einem hohen Wissenszuwachs einher ( $N = 34$ ,  $r = .47$ ,  $p = .005$ ), nicht aber bei spezifischen Problemlösezielen ( $N = 36$ ,  $r = .26$ ,  $p = .119$ ). Jedoch ist weder der Unterschied zwischen diesen Korrelationskoeffizienten statistisch signifikant ( $Z = .98$ ,  $p = .159$ ), noch der kovarianzanalytische Interaktionseffekt von Zielspezifität (spezifische vs. unspezifische Problemlöseziele) und Strategienutzung auf den Wissenszuwachs (bei einer ANCOVA

mit Strategienutzung als Kovariate;  $F_{(1, 60)} = 3.34, p = .069$ ). Dies spricht einerseits dafür, dass Probanden mit unspezifischen Problemlösezielen die isolierende Variablenkontrolle zwar bedeutsam häufiger, aber nur tendenziell gewinnbringender für den Wissenserwerb nutzten als jene mit spezifischen Problemlösezielen. Andererseits verweist der Befund, dass unspezifische Problemlöseziele einen bedeutsam höheren Wissenszuwachs bewirkten als spezifische Problemlöseziele, wieder auf den Aspekt der Nutzungsqualität von (auch anderen) Lernstrategien (vgl. Leutner & Leopold, 2002a, 2003, 2006; vgl. Abschnitt 6.4.2.1).

#### **6.4.2.3 Zielspezifität bei Lernzielen**

*Spezifität von Lernzielen und Lernerfolg.* Erwartungsgemäß ließ sich der Zielspezifitätseffekt nicht bei Lernzielen beobachten. Das nicht signifikante Ergebnis im Kontrasttest bestätigt die Hypothese, dass die Spezifität von Zielvorgaben bei Lernzielen für den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs nicht relevant ist. Anders als spezifische Problemlöseziele, die wenig Spielraum für Lernprozesse bieten, weil sie konkrete Handlungsaufforderungen zum Lösen von Problemen beinhalten (siehe Abschnitt 6.4.2.2), enthalten spezifische Lernziele konkrete Handlungsaufforderungen zum *Lernen*. Somit war kein signifikanter Unterschied im Wissenszuwachs im Vergleich zu unspezifischen Lernzielen zu erwarten: Sowohl spezifische als auch unspezifische Lernziele fordern zum Lernen auf, und Probanden mit spezifischen Lernzielen schnitten in der Stichprobe sogar leicht (aber nicht signifikant) besser ab als Probanden mit unspezifischen Lernzielen.

*Spezifität von Lernzielen und cognitive load.* Erwartungswidrig erklärt die Zielspezifität bei Lernzielen einen bedeutsamen Teil der Varianz von 17% ( $p < .001$ ) im *cognitive load* (Abschnitt 6.3.5.2). Wie bei Problemlösezielen bewirkten spezifische Ziele auch bei Lernzielen einen signifikant höheren *cognitive load* als unspezifische Ziele ( $d = .85$ ). Wenn aber unabhängig davon, ob es sich um Lernziele oder Problemlöseziele handelt, spezifische Ziele einen höheren *cognitive load* bewirken als unspezifische Ziele, dann stellt das Swellers Interpretation des Zielspezifitätseffekts (siehe S. 156) für die vorliegende Arbeit in Frage. Da sowohl spezifische als auch unspezifische Lernziele zum Lernen aufforderten und nicht zum Problemlösen, sollte auch in beiden Fällen keine Anwendung der Mittel-Ziel-Analyse und keine dual-task-Anforderung aus Problemlösen und Lernen ausgelöst werden. In Arbeiten wie der von Sweller et al. (1983) stand jedoch genau ein spezifisches Ziel genau einem unspezifischen Ziel gegenüber. Die Experimentierumgebung der vorliegenden Arbeit ließ hingegen eine solche Konstanzhaltung der Anzahl unspezifischer und spezifischer Zielvorgaben nicht zu, weil die 14 unterschiedlichen Relationen der Experimentierumgebung weder bei Problemlösezielen, noch bei Lernzielen als drei spezifische Ziele formulierbar sind. Eine



größere Anzahl zu verarbeitender spezifischer Ziele bewirkte möglicherweise auch bei Lernzielen einen signifikant höheren *cognitive load* als die kleinere Anzahl zu verarbeitender unspezifischer Ziele (vgl. Abschnitt 6.4.2.1). Allerdings bewirkten spezifische Lernziele von allen vier Zielarten nicht nur den höchsten *cognitive load*, sondern auch den höchsten deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs (siehe Kapitel 6.3, z.B. Tabelle 20). Das stützt die Vermutung, dass (insbesondere spezifische) Lernziele verglichen mit Problemlösezielen die höchste Investition der kognitiven Kapazität in Lernprozesse (*germane load*) angeregt haben. Im Kontrast dazu scheinen spezifische Problemlöseziele, die den zweithöchsten *cognitive load* und sogar einen leicht negativen Wissenszuwachs bewirkten, verglichen mit den anderen Zielarten, den höchsten *intrinsic* und *extraneous load* ausgelöst zu haben. Das würde wiederum der Tendenz zum Einsatz der kognitiv belastenden Mittel-Ziel-Analyse nur unter spezifischen Problemlösezielen entsprechen (Sweller, 1988, 1994; vgl. Kapitel 3.4.3). Diese vorsichtigen Schlussfolgerungen können jedoch im Rahmen der vorliegenden Studie nicht geprüft werden. Die Forschung brachte bislang kein validiertes und veröffentlichtes Instrument hervor, mit dem sich die drei *cognitive load*-Typen *intrinsic*-, *extraneous*-, und *germane load* differenziert messen lassen.

*Spezifität von Lernzielen und Strategienutzung.* Wie erwartet, bewirkten spezifische und unspezifische Lernziele keine statistisch bedeutsamen Unterschiede hinsichtlich der Nutzungshäufigkeit der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle. Dieses Resultat stützt die zuvor gemachte Annahme, dass beide *Lernzielarten* zu einer vergleichbar häufigen *Lernstrategienutzung* führen, weil sie beide zum Lernen auffordern.

#### **6.4.2.4 Zum Einfluss der internalen Lernzielorientierung**

Für das Ausmaß an Lernzielorientierung konnte weder ein statistisch signifikanter Interaktionseffekt mit dem Faktor Zielqualität, noch mit dem Faktor Zielspezifität auf den Lernerfolg gezeigt werden. Somit fungierte die Lernzielorientierung weder als Moderator für die lernerfolgsbezogenen Effekte der Zielqualität, noch (erwartungsgemäß) für die der Zielspezifität. Die in der 2 x 2-faktoriellen ANCOVA (Kapitel 6.3) als Kovariate zuletzt positionierte Lernzielorientierung erklärt einen entsprechend kleinen, aber statistisch signifikanten Anteil der Varianz im Wissenszuwachs ( $p = .009$ ,  $\eta^2 = .03$ ; Tabelle 19, S. 135). Auch ist das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung ein schwacher, aber statistisch bedeutsamer Prädiktor für den Wissenszuwachs ( $\beta = .25$ ,  $p = .005$ ; Abbildung 17, S. 129). Zudem wiesen beispielsweise Probanden mit einer hohen Lernzielorientierung einen signifikant größeren deklarativ-konzeptuellen (vorwissensbereinigten) Wissenszuwachs auf als Probanden mit einer geringen Lernzielorientierung, allerdings mit geringer praktischer Bedeutsamkeit ( $t_{(229)} = 1.86$ ,  $p = .033$ ,  $d = .25$ ). Werden nur Probanden mit Lernzielen, geringem Vorwissen und *hoher*

Lernzielorientierung ausgewählt, zeigt sich ein bedeutsamer *einfacher* Zugewinn an deklarativ-konzeptuellem Wissen im Sinne einer nicht vorwissensbereinigten Punktwert-Differenz zwischen Prä- und Posttest ( $p = .027$ ,  $d = .57$ ). Zwar ist in erster Linie das Vorwissen hierfür verantwortlich (für Probanden mit geringem Eingangswissen verblieb mehr erwerbbares Wissen). Jedoch ist dieser einfache Zugewinn an Wissen auch bei Lernzielen noch nicht signifikant, wenn nur Probanden mit externalen Lernzielen und geringem Vorwissen, aber ebenfalls *geringer* Lernzielorientierung betrachtet werden ( $p = .145$ ). Probanden mit Problemlösezielen und geringem Vorwissen lernten nicht bedeutsam hinzu, unabhängig davon, ob ihr Ausmaß an Lernzielorientierung hoch ( $p = .270$ ) oder niedrig ist ( $p = .815$ ).

Insgesamt fällt das Ausmaß an internaler Lernzielorientierung hinter der Rolle von externalen Zielvorgaben für den deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren erkennbar zurück.

## **7 Zusammenfassende Diskussion der Arbeit**

### **7.1 Zusammenfassender Überblick**

In der folgenden zusammenfassenden Diskussion werden die wichtigsten Befunde der Arbeit überblicksartig zusammengefasst, wobei neben den Befunden der korrelativen Studie insbesondere die Dimensionen Zielqualität und Zielspezifität hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Lernerfolg, *cognitive load* und Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren berücksichtigt werden. Die Arbeit schließt mit den Kapiteln 7.2 und 7.3 ab, in denen theoretische und praktische Implikationen aus beiden durchgeführten Studien dargelegt werden. Hierbei werden auch inkonsistente Befunde dieser Arbeit diskutiert sowie Perspektiven für zukünftige Forschungsarbeiten und für den praktischen Nutzen im naturwissenschaftlichen Schulunterricht aufgezeigt.

In der *korrelativen Studie* der vorliegenden Arbeit wurde zunächst die Entwicklung und Evaluation einer curricular validen computerbasierten Experimentierumgebung vorgestellt. Diese korrelative Studie diente zum einen der Überprüfung, ob sich die Experimentierumgebung als Erhebungsinstrument für die darauffolgende experimentelle Studie eignet. Es konnte gezeigt werden, dass diese Experimentierumgebung ausreichend lernwirksam ist, um einen signifikanten deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren (Kapitel 2.2.4) messen zu können. Hierzu, sowie zur Erfassung der Strategienutzung und der Leistung bei der Wissensanwendung, haben sich zusätzlich entwickelte Instrumente als reliabel erwiesen. Dabei konnte belegt werden, dass die durch ein reliables computerbasiertes Maß erfasste *between*-Variante der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle (siehe Abschnitt 2.2.2.2; vgl. Küsting et al., im Druck) ein

signifikanter Prädiktor für den Erfolg beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren ist. Bisher gelang der Nachweis für diese Variante nur in aufwändigen realen Experimentiersettings.

Zum anderen intendierte die korrelative Studie die Überprüfung der Rolle des Vorwissens als Moderator für die Vorhersage des deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachses durch die Strategienutzung (Kapitel 2.3.2; vgl. Baumert & Köller, 1996; Klahr & Dunbar, 1988; vgl. Künsting et al., im Druck; Schraagen, 1993). Eine entsprechende Moderatoranalyse konnte diese Annahme belegen und zeigen, dass auch unter jeweiliger Kontrolle weiterer lernerfolgsrelevanter Variablen Probanden mit hohem Vorwissen die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle bedeutsam effizienter für den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs genutzt haben als Probanden mit geringem Vorwissen.

Die in der korrelativen Studie erfolgreich evaluierte Experimentierumgebung sowie das unter Kontrolle weiterer lernerfolgsrelevanter Variablen überprüfte prädiktive Potenzial der Strategienutzung diente im Wesentlichen einer soliden Basis für die Durchführung der experimentellen Studie.

Ein *zentrales Ziel der experimentellen Studie* bestand in dem experimentellen Vergleich vier unterschiedlicher Arten von Zielvorgaben (Kapitel 6.2.2 und 6.2.3) hinsichtlich ihrer Effekte auf den Lernerfolg, den *cognitive load* und die Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren. Dabei wurden spezifische und unspezifische Problemlöseziele spezifischen und unspezifischen Lernzielen gegenübergestellt. Bei allen kovarianzanalytischen Vergleichen wurden Vorwissen, Intelligenz, aktuelle Motivation, Interesse und Lernzieorientierung (Kapitel 2.3 bzw. 2.4) als Kontrollvariablen berücksichtigt.

Eine wesentliche Forschungslücke schließt die vorliegende Arbeit mit der Bestätigung der zuvor aufgestellten Hypothese, dass die explizite Aufforderung zum Lernen (Zusammenhänge herauszufinden und sich zu merken) das selbstreguliert-entdeckende Lernen durch Experimentieren (Kapitel 2.2.4) stärker fördert als die explizite Aufforderung Probleme zu lösen (situationale Zustände herzustellen): Spezifische und unspezifische Lernzielvorgaben (Abschnitt 3.2.2.2) hinterlassen einen signifikant höheren deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren als spezifische und unspezifische Problemlösezielvorgaben (Abschnitt 3.2.2.1). Spezifische Zielvorgaben (spezifische Lern- und Problemlöseziele) bewirkten dagegen keinen bedeutsam unterschiedlichen deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs im Vergleich zu unspezifischen Zielvorgaben (unspezifische Lern- und Problemlöseziele). Erwartungsgemäß beeinflusste die Zielspezifität in dieser Arbeit nur bei Problemlösezielen den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs bedeutsam, während spezifische und unspezifische Lernziele zu

vergleichbar hohem Lernerfolg führten. Dieses Ergebnis versteht sich zum einen als erstmalige empirische Evidenz dafür, dass externale Lernziele den deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren Wissenszuwachs bedeutsam stärker fördern können als externale Problemlöseziele. Zum anderen hat die vorliegende Arbeit wie erwartet zeigen können, dass die Zielspezifität nur bei Problemlösezielen eine lernerfolgsbezogene Rolle spielt, während Lernziele den Lernerfolg unabhängig von ihrem Spezifitätsgrad beeinflussten.

Dieses Ergebnis bedeutet nicht, dass die Zielqualität (zwischen Problemlösezielen und Lernzielen zu unterscheiden, Kapitel 3.2.2) für den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren *bedeutsam* relevanter ist als die Zielspezifität (zwischen spezifischen und unspezifischen Zielen zu unterscheiden, Kapitel 3.2.1): Zwar ist der lernerfolgsbezogene Zielqualitätseffekt in der Stichprobe insgesamt erwartungsgemäß stärker als der lernerfolgsbezogene Zielspezifitätseffekt. Diese beiden Effekte unterscheiden sich jedoch nicht statistisch signifikant voneinander (Kapitel 6.3.1), was in Abschnitt 6.4.2.1 bereits diskutiert wurde.

Hypothesenkonform erlegten Lernziele und Problemlöseziele einen vergleichbar hohen *cognitive load* (vgl. Kapitel 3.4) beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren auf. Offenbar können Lern- und Problemlöseprozesse in Experimentiersituationen die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses (Kapitel 3.4.1) zwar auf unterschiedliche Weise (*germane* vs. *extraneous* bzw. *intrinsic load*), aber in vergleichbar hoher Gesamtintensität beanspruchen.

Erwartungswidrig erklärte die *Zielqualität* keine Unterschiede in der Strategienutzung: Lernziele bewirkten keine häufigere Nutzung der Lernstrategie der isolierenden Variablenkontrolle (Kapitel 2.2.2.2) als Problemlöseziele. Der höhere Wissenszuwachs bei Lernzielen legt aber nahe, dass sie im Vergleich zu Problemlösezielen eine bessere Nutzungsqualität (vgl. Leutner & Leopold, 2002a, 2003, 2006) der isolierenden Variablenkontrolle und einen stärkeren Einsatz weiterer kognitiver Lernstrategien (z.B. Wiederholungsstrategien) beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren ausgelöst haben könnten.

Die *Zielspezifität* dagegen klärt substanzielle Unterschiede im *cognitive load* auf (vgl. Sweller, 1988, 1994): Unspezifische Ziele bewirkten unabhängig davon, ob es sich um Problemlöseziele oder Lernziele handelte, einen bedeutsam geringeren *cognitive load* als spezifische Ziele. Da spezifische Lernziele nicht wie spezifische Problemlöseziele die kognitiv belastende Problemlösestrategie der Mittel-Ziel-Analyse auslösen sollten (siehe Kapitel 4.2), wird zum einen angenommen, dass die höhere Anzahl zu verarbeitender spezifischer Ziele verglichen mit unspezifischen Zielen das Arbeitsgedächtnis stärker belastet hat. Zum anderen liegt es nahe, dass spezifische Lernziele durch ihre

Aufforderung, konkrete Zusammenhänge von Variablen zu erlernen, eine hohen *germane load* erzeugten, da sie den höchsten deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg von allen vier Zielarten bewirkten (vgl. Paas & van Gog, 2006).

Eine signifikant häufigere Strategienutzung zugunsten unspezifischer Ziele fand sich nur bei Problemlösezielen und im zusammenfassenden Vergleich von spezifischen Lern- und Problemlösezielen mit unspezifischen Lern- und Problemlösezielen. Dieser Effekt zeigte sich jedoch nicht im Einzelvergleich von spezifischen mit unspezifischen Lernzielen. Die Relevanz von Zielspezifität für die Häufigkeit der Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren könnte auf den geringeren Handlungsspielraum spezifischer Ziele zurückzuführen sein (Abschnitt 6.4.2.3): Spezifische Problemlöseziele ließen keinen Freiraum für Lernprozesse und lösten möglicherweise Tendenzen zum Einsatz der Mittel-Ziel-Analyse und des Versuch-Irrtum-Vorgehens aus. Spezifische Lernziele könnten dagegen durch ihre konkreten Aufforderungen, spezifische Zusammenhänge zu explorieren, eine ökonomischere Strategienutzung bewirkt haben.

Der *Zielspezifitätseffekt* (Kapitel 3.2.1; siehe z.B. Burns & Vollmeyer, 2002; Sweller, 1988, 1994; Trumpower et al., 2004) bei Problemlösezielen wurde in der vorliegenden Arbeit repliziert und erweitert: Unspezifische Problemlöseziele bewirkten, verglichen mit spezifischen Problemlösezielen, einen bedeutsam höheren deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg, einen signifikant geringeren *cognitive load* und eine substanziell häufigere Nutzung der isolierenden Variablenkontrolle. Diese Befunde schließen ebenfalls eine Forschungslücke, da sie als empirischer Nachweis *innerhalb einer Studie* in der bisherigen Literatur nicht vorzufinden sind.

Für das Ausmaß an *interner Lernzielorientierung* (Kapitel 2.4.1) wurde zusammenfassend nur eine tendenzielle Lernförderlichkeit festgestellt (siehe Kapitel 6.3.4). Die Effekte der externalen Zielvorgaben auf den Lernerfolg erwiesen sich insgesamt als relativ robust gegenüber dem Ausmaß an internaler Lernzielorientierung. Die lernförderlichen Effekte externaler Lernziele wurden beispielsweise nur leicht durch eine gleichzeitig hohe interne Lernzielorientierung verstärkt.

## 7.2 Theoretische Implikationen und Perspektiven

*Korrelative Studie.* Mit der korrelativen Studie leistet die vorliegende Arbeit einen wichtigen Forschungsbeitrag zum strategischen Experimentieren in naturwissenschaftlichen Domänen. Es konnte erstmals auch mit einer computerbasierten Experimentierumgebung eine substanzielle Vorhersage des Lernerfolgs beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch die *between*-Variante der Lernstrategie der isolierenden Variablenkontrolle gezeigt werden, was den Stellenwert dieser Lernstrategie

herausstellt: Eine theoretische Implikation ist, dass die Nutzung dieser Strategie beim strategischen Experimentieren neben Intelligenz, Motivation und metakognitivem Strategiewissen als eigenständiger Prädiktor für den Lernerfolg zu berücksichtigen ist. Eine zusätzliche theoretische Implikation besteht darin, dass die Effizienz der Nutzung dieser Strategie stark vom Ausmaß des domänenspezifischen Vorwissens abhängt: Probanden mit hohem Vorwissen profitieren deutlich stärker von der Nutzung der isolierenden Variablenkontrolle als Probanden mit geringem Vorwissen.

*Experimentelle Studie.* Mit der experimentellen Studie trägt die vorliegende Arbeit zu neuen Erkenntnissen in der instruktionspsychologischen Forschung zur Wirkung externaler Zielvorgaben auf den Lernerfolg, den *cognitive load* und die Strategienutzung beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren bei. Der Forschungsbeitrag dieser Studie besteht zum einen in dem wesentlichen empirischen Befund, dass das Setzen von Lernzielen den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren stärker fördert als das Setzen external gesetzter Problemlöseziele, bei vergleichbar hohem *cognitive load*.

Ein weiterer zentraler theoretischer Nutzen besteht in der empirischen Evidenz, dass es für den deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren erwartungsgemäß nur bei Problemlösezielen ausschlaggebend ist, zwischen spezifischen und unspezifischen Zielen zu unterscheiden, nicht aber bei Lernzielen. – Wird beim empirischen Vergleich externaler Zielvorgaben eine Konfundierung der Zielmerkmale Spezifität und Qualität zugelassen (z.B. Burns & Vollmeyer, 2002), bleibt offen, wie groß ihr jeweiliger Beitrag zur Erklärung der Lernerfolgsvarianz ist. Die Befunde der vorliegenden Arbeit sprechen dafür, dass in der bisherigen Forschung zu externalen Zielvorgaben tatsächlich ein bestimmter Anteil von Lernerfolgsvarianz fälschlicherweise auf Zielspezifität statt auf Zielqualität zurückgeführt wurde (vgl. Abschnitt 3.2.1.2 und Kapitel 3.5). Zusätzlich wurde aufgezeigt, dass die Zielspezifität eine substanzielle Rolle für das Gesamtausmaß an *cognitive load* und für die Häufigkeit der Strategienutzung spielt.

Schließlich impliziert die Replikation und erstmalige empirische Erweiterung des Zielspezifitätseffekts innerhalb einer Studie, dass das Setzen unspezifischer im Vergleich zu spezifischen Problemlösezielen gleichzeitig einen höheren Lernerfolg, einen geringeren *cognitive load* und eine häufigere Strategienutzung bewirkt.

Eine hohe Lernzielorientierung begünstigte insgesamt den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs unter externalen Zielvorgaben nur tendenziell. – Um motivationale Bedingungen für die Übernahme external gesetzter Zielvorgaben umfassender zu kontrollieren, empfiehlt sich für zukünftige Studien, die aufgabenbezogene Selbstwirksamkeitsüberzeugung (Boekaerts, 1999; Bong & Skaalvik, 2003; Pintrich, 1999) ebenfalls zu berücksichtigen. Eine hohe Selbstwirksamkeitsüberzeugung sollte

insbesondere bei schwierigen Zielvorgaben eher zu deren Übernahme führen als eine geringe Selbstwirksamkeitsüberzeugung, was durch die Arbeit von Huber und Neale (1986) unterstützt wird (vgl. z.B. Brown & Latham, 2002; Locke & Latham, 1990). Auch empfiehlt es sich, zukünftig das akademische (und domänenspezifische) Selbstkonzept eigener Begabung (z.B. Marsh, 1986) zu kontrollieren. In Anlehnung an Stiensmeier-Pelster et al. (1996) ist zu erwarten, dass die Leistung von Probanden mit einer hohen Lernzielorientierung weitgehend unabhängig von der Höhe des Selbstkonzeptes ist, während die Leistung für Probanden mit einer geringen Lernzielorientierung von einem hohen Selbstkonzept bedeutsam begünstigt werden sollte (vgl. Dweck & Leggett, 1988; Eckert et al., 2006).

*Skala Lernzielorientierungen und Treatment-Check.* Mit der Konstruktion der Gesamtskala für die interne Lernzielorientierung sollte kontrolliert werden, ob und inwieweit das Ausmaß an Lernzielorientierung als *dispositionales Persönlichkeitsmerkmal* die lernerfolgsbezogene Wirkung externaler Zielvorgaben als *direktive Aufforderung* zum Lernen abschwächen beziehungsweise verstärken kann. Interessant wäre zu prüfen, ob eine Konstruktverlagerung der Skala Lernzielorientierung als dispositionales Personenmerkmal zu einer situativen und an den konkreten Inhaltsbereich angepassten Lernzielorientierung als aktuellen motivationalen Zustand die Zusammenhänge mit Lernerfolg verstärkt. Allerdings ist dann fraglich, ob noch von einer *Zielorientierung* gesprochen werden kann, vielmehr müsste in einem solchem Fall von „aktueller Lernmotivation“ versus „aktueller Problemlösemotivation“ ausgegangen werden. Von einer solchen situativ und inhaltlich adaptierten Skala könnte eine entsprechend modifizierte Version als „treatment-check“ abgeleitet werden, um direkt nach der Präsentation externaler Zielvorgaben abzuschätzen, ob und wie weit diese der Intention entsprechend von den Schülern übernommen wurden.

*Differenzierter cognitive load.* Weder in der vorliegenden Studie, noch in der bisherigen *cognitive load*-Forschung wurde ein Instrument entwickelt, mit dessen Hilfe sich *intrinsic*,- *extraneous*,- und *germane load* nachweislich valide separiert erfassen lassen. Daher ist die Forschung derzeit darauf angewiesen, über den Vergleich von *cognitive load*- und Lernerfolgsdaten zu schlussfolgern, welche instruktionalen Bedingungen eher *germane* beziehungsweise *intrinsic* oder *extraneous load* erzeugt haben können (vgl. z.B. Trumpower et al., 2004; van Gog & Paas, 2006). Trotz der Plausibilität entsprechender Befundmuster ist diese Art von Zuweisung von *cognitive load*-Typen zu instruktionalen Bedingungen mehr Spekulation denn empirische Bestätigung. Die Entwicklung eines solchen Instruments stellt eine interessante Herausforderung und gleichzeitig einen wichtigen Schritt auch für die Forschung zu den Effekten externaler Zielvorgaben auf den Lernerfolg dar. Die Reaktionszeitmessung als ansonsten erfolgreiche, objektive und direkte Erfassung des *cognitive load* (z.B. Brünken

et al., 2003) erscheint dafür jedoch ungeeignet, da die Latenzen nicht qualitativ, sondern quantitativ differenzieren.

Für eine differenzierte Erfassung der drei *cognitive load*-Typen mittels subjektiver Fragebögen müssten zur Erfassung des *intrinsic load* Items konstruiert werden, die nur solche kognitiven Belastungen messen, die von den *grundlegenden Verstehensanforderungen* bedingt durch die Aufgabenkomplexität ausgehen (vgl. Marcus et al., 1996; Paas, Renkl & Sweller, 2003). Der *extraneous load* würde am ehesten durch Items repräsentiert, die sich auf die mentale Anstrengung beziehen, welche nur von der Art der Aufgabengestaltung (z.B. Designmerkmale; Mayer, 2001; Mayer & Moreno, 2003) gefordert wird. Der *germane load* wäre durch Items repräsentierbar, welche die kognitive Kapazität messen, die über die grundlegende Verstehensanforderung der Aufgabe hinaus nur in lernrelevante Aktivitäten (z.B. Zusammenhänge identifizieren und integrieren) investiert wird. Jedoch sind die geforderten Ressourcen des einen *cognitive load*-Typs als abhängig von denen des anderen anzunehmen: Beispielsweise wird die Investition in Lernprozesse (*germane load*) von ausreichend lernmotivierten Personen als umso anstrengender eingeschätzt werden, je höher die kognitive Belastung ist, die aufgebracht werden muss, um eine Aufgabe in ihrer Komplexität *überhaupt* zu verstehen (*intrinsic load*). Sehr komplexe Aufgaben könnten so, insbesondere bei Probanden mit geringem Vorwissen, einen hohen Testscore für den *germane load* erzeugen, obwohl der resultierende Lernerfolg aufgrund der hohen Aufgabenkomplexität gering ausfällt. Auch erscheint die Trennung schwierig, welche Verstehensprozesse beispielsweise dem *intrinsic load* und welche dem *germane load* zuzuordnen sind. Schließlich ist fragwürdig, ob durch die Itemformulierungen gelenkte Probanden tatsächlich intro- und retrospektiv in der Lage sind, ihre Einschätzungen zur kognitiven Belastung derart differenziert abzugeben. Die Qualität der Items stellt eine entsprechende Herausforderung dar.

*Inkonsistente Befunde.* Eine Einschränkung der vorliegenden Arbeit ist, dass Lernziele zwar einen bedeutsam höheren deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs bewirkten, aber keine bedeutsamen Unterschiede bei der Wissensanwendung hinterließen. Das Gleiche gilt für den Zielspezifitätseffekt bei Problemlösezielen, der sich ebenfalls nur für den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs zeigte. Diese ausgebliebenen Unterschiede können zum einen damit zusammenhängen, dass für den computerbasierten Wissensanwendungstest aufgrund der erwähnten technischen Probleme deutlich weniger Probanden verblieben (N = 143) als für das Maß des Wissenszuwachses (N = 233). Überdies sind Effekte der Motivation und der Testmüdigkeit denkbar, da der Wissensanwendungstest das letzte Testmodul der 90-minütigen Untersuchung war. Zum anderen bot die Explorationsphase von 20 Minuten möglicherweise nicht genügend Gelegenheit, inhaltliches Wissen in hinreichend



konditionalisierter Form (Alexander et al., 1991; Paris et al., 1983) abzuspeichern. Danach könnte es beispielsweise Probanden mit Lernzielen trotz ihres höheren Wissenszuwachses im Vergleich zu Probanden mit Problemlösezielen schwergefallen sein, dieses Wissen effektiv in Handlungen zu übertragen. Schließlich kann das Konzept der Wissenskompartmentalisierung einen Beitrag zur Erklärung für die nur im Wissensanwendungstest ausgebliebenen Gruppenunterschiede leisten: Personen greifen in Anwendungssituationen oft auf vertrautere Konzepte zurück, die aber unter Umständen inkorrekt sein können (siehe Kapitel 2.3.2; vgl. Mandl et al., 1993; Renkl, 1996b). Damit die in dieser Studie gefundenen Effekte externaler Zielvorgaben auf den deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg noch einmal für die Leistung im Wissensanwendungstest geprüft werden können, empfiehlt sich (z.B. aufgrund von Testmüdigkeit) dessen zeitliche (Vor)Positionierung an die Stelle des deklarativ-konzeptuellen Posttests. Zudem böte sich eine Aufteilung aller notwendigen Instrumenteeinsätze auf zwei Testtage an.

In der vorliegenden Studie war eine Staffelung der experimentellen Untersuchung in mehrere Experimente aus zeitökonomischen Gründen nicht möglich. Nach einzelnen Fragestellungen getrennte Untersuchungen an größeren Stichproben mit jeweils weniger Testinstrumenten und einer funktional optimierten Experimentierumgebung sollten durch die Fokussierung einzelner Fragestellungen die Eindeutigkeit der jeweiligen Effekte in Art und Stärke erhöhen. Möglicherweise haben die vielen Informationen, die die Schüler innerhalb von 90 Minuten verarbeiten mussten, zu Beeinträchtigungen kognitiver Prozesse geführt, was den insgesamt schwachen Wissenszuwachs und seine schwachen positiven Zusammenhänge mit der internalen Lernzielorientierung erklären könnte. Auch Fehlkonzepte (Vosniadou, 1994b) und inkonsistentes Vorwissen (Pazzani, 1991) können zum insgesamt geringen deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs der Gesamtstichprobe beigetragen haben, da sie den Wissenserwerb behindern können (vgl. Kapitel 2.3.2).

Eine Studie, in der neben der Anzahl papier-bleistift-basierter Instrumente die Komplexität der Experimentierumgebung hinsichtlich ihrer Module, Relationen und Zielvorgaben reduziert ist, kann hierüber Aufschluss geben. Da sich die Datenerhebung der vorliegenden Arbeit auf eine 20-minütige Momentaufnahme von Lern- und Problemlöseprozessen beim Experimentieren beschränken musste, konnten ebenfalls keine Entwicklungsprozesse beobachtet werden. Um in diesem relativ kurzen Zeitfenster zukünftig den Lernerfolg insgesamt zu verstärken, empfiehlt sich neben einer Optimierung der Wissenstests (z.B. mehr Antwortalternativen und dafür eine Beschränkung auf weniger Relationen) auch eine vorgeschaltete kurze Übungseinheit zum strategischen Experimentieren anhand von Alltagsbeispielen.

*Generalisierbarkeit.* Die Befunde dieser Studie beruhen aufgrund des experimentellen Forschungsdesigns auf einer Clusterstichprobe (siehe Kapitel 6.2.1), was die Generalisierbarkeit der Befunde entsprechend begrenzt. Da in dieser Arbeit ein vorwissenshaltiges und schulcurricular etabliertes Thema aus der Domäne Physik gewählt wurde, gelten die Ergebnisse zwar für einen unterrichtsrelevanten Inhaltsbereich. Somit ist aber auch, neben der Konsequenz replikativer Forschungsarbeiten anhand größerer Zufallsstichproben aus weiteren Teilen der Population, eine Prüfung auf domänen- und inhaltsbezogene Generalisierbarkeit notwendig (z.B. auf Chemie oder auf andere Inhaltsbereiche der Physik). Zudem ist noch offen, wie sich die in dieser Arbeit untersuchten Zielarten langfristig auswirken, so dass Zeitreihenmessungen nicht uninteressant sind.

### **7.3 Praktische Implikationen und Perspektiven**

*Experimentierumgebung und Strategienutzung.* Wie aus der korrelativen Studie in Kapitel 5 hervorgeht, gelang die Entwicklung und Evaluation einer computerbasierten Experimentierumgebung eines curricular validen physikalischen Inhaltsbereichs. Diese Experimentierumgebung erwies sich als zuverlässiges Diagnoseinstrument für den deklarativ-konzeptuellen Lernerfolg, die Strategienutzung und die Wissensanwendung. Die Effekte der Nutzung der Strategie der isolierenden Variablenkontrolle auf den deklarativ-konzeptuellen Wissenszuwachs erwiesen sich als substantiell und hingen in ihrer Stärke bedeutsam vom Vorwissensniveau ab, und zwar unabhängig davon, ob Intelligenz, aktuelle Motivation oder metakognitives Strategiewissen (Strategiewissen wurde nur in der korrelativen Studie erhoben) als Kontrollvariablen berücksichtigt wurden. Die isolierende Variablenkontrolle verdient als praktische Implikation insbesondere unter Berücksichtigung des Vorwissens entsprechende Beachtung im naturwissenschaftlichen Unterricht, auch hinsichtlich (förder-) diagnostischer Aspekte.

Die hier verwendete computerbasierte Experimentierumgebung zum selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren eignet sich damit auch für den praktischen Einsatz im Unterricht: Sie eignet sich zum einen für die Erfassung vorwissenbedingter Effekt-Differenzen. Zum anderen bietet sie nicht nur die Möglichkeit, auf ökonomische Weise das strategische Verhalten beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren individuell zu beobachten und zu erfassen, sondern auch individuell zu fördern. Beispielsweise kann die Strategienutzung während des Experimentierens online erfasst werden, um darauf aufbauend adaptive metakognitive *online*-Hilfen zu präsentieren. Solche *online*-Hilfen (vgl. Bannert, 2003) können zum Beispiel in Form so genannter *prompts* (Anregungen) in Textfenstern dargeboten und an den individuellen Lernprozess angepasst werden, um eine effiziente Strategienutzung zu unterstützen.

*Zusätzlich entwickelte Instrumente.* Zusätzlich zu den Instrumenten zur Erfassung des deklarativ-konzeptuellen Wissens und der Wissensanwendung zum Inhaltsbereich Auftrieb in Flüssigkeiten wurde zum einen ein reliabler Fragebogen zur Messung internaler Zielorientierungen entwickelt, für den erste Hinweise auf Konstruktvalidität vorliegen. Zum anderen wurde ein ebenfalls reliabler Fragebogen zur Messung des *cognitive load* entwickelt, dessen Items mit Blick auf unterschiedliche kognitive Anforderungsarten der verwendeten Experimentierumgebung konstruiert wurden. Mit diesem Fragebogen können zuverlässig von externalen Zielvorgaben abhängige Unterschiede im *cognitive load* gemessen werden. Als erster diskreter Hinweis auf Konstruktvalidität der *cognitive load*-Skala kann ihr geringer, aber statistisch bedeutsam negativer Zusammenhang mit Intelligenz gelten ( $r = -.18$ ,  $p = .006$ ), der dafür spricht, dass (test-)intelligentere Probanden zumindest tendenziell weniger mentale Anstrengung zu investieren brauchten als weniger (test-)intelligente.

*Zielvorgaben.* Der replizierte und erweiterte Zielspezifitätseffekt spricht dafür, dass das Setzen unspezifischer statt spezifischer Problemlöseziele selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren in schulisch relevanten Inhaltsbereichen in dreifacher Hinsicht fördert: Zugunsten eines höheren deklarativ-konzeptuellen Lernerfolgs, eines geringeren *cognitive load* und einer häufigeren Strategienutzung. Insbesondere aber liefert die vorliegende Arbeit unter Verwendung eines curricular validen Inhaltsbereichs die empirische Evidenz für den praktischen Nutzen des Setzens von Lernzielen: Bei externalen Lernzielen resultierte beim selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren ein bedeutsam höherer deklarativ-konzeptueller Lernerfolg als unter externalen Problemlösezielen (Zielqualitätseffekt). Für die naturwissenschaftliche Unterrichtspraxis, in der zumeist Problemlöseziele gesetzt werden (vgl. z.B. Lunetta, 1998; Seidel et al., 2002), kann deshalb bezogen auf den Erwerb deklarativ-konzeptuellen Wissens die Empfehlung ausgesprochen werden, das Setzen von Lernzielen gegenüber dem Setzen von Problemlösezielen zu bevorzugen: Schüler explizit zum Erlernen von Zusammenhängen (Identifizieren und Integrieren von Informationen) aufzufordern, fördert den Erwerb deklarativ-konzeptuellen Wissens stärker als sie explizit zum Lösen von Problemen aufzufordern (Herstellen situationaler Zustände).

Die in dieser Studie verwendeten Zielvorgaben wurden allerdings für den Zweck der experimentellen Forschung konstruiert und unterscheiden sich nur in den Merkmalen, welche die jeweilige Zielart definieren (siehe Kapitel 6.2.2). Hierdurch wurde sichergestellt, dass Unterschiede im Lernerfolg nur auf die für eine Zielart charakteristischen Merkmale zurückzuführen sind. Für einen didaktisch einträglicheren Einsatz dieser Zielvorgaben besteht die Notwendigkeit ihrer vorherigen didaktischen Aufbereitung. Beispielsweise kann durch eine graduelle Aufhebung der

Formulierungskonstanz bei spezifischen Lernzielen die Verständlichkeit erhöht werden: Eine individuell an jede zu erlernende Relation beziehungsweise Relationsart (siehe Anhang 5) didaktisch angepasste Formulierung sollte die Eindeutigkeit der Aufforderung, was genau gelernt werden soll, erhöhen. Da diese Arbeit ebenfalls zeigt, dass eine hohe interne Lernzielorientierung den höheren Lernerfolg externaler Zielvorgaben zumindest tendenziell zusätzlich unterstützt, empfiehlt sich die Motivierung von Schülern hinsichtlich einer lernzielorientierten Haltung gegenüber Lerngegenständen.

Durch eine didaktische Aufbereitung der Lernziele und der Experimentierumgebung insgesamt sollte eine Trainingsumgebung zum selbstreguliert-entdeckenden Lernen durch Experimentieren für den curricular validen physikalischen Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ konzipierbar sein, die sich in der Schulpraxis ökonomisch in ganzen Schulklassen einsetzen lässt. Eine solche computerbasierte Trainingsumgebung versteht sich als Ergänzung zum konventionellen naturwissenschaftlichen Unterricht.

## 8 Literatur

- Akaike, H. (1987). Factor analysis and AIC. *Psychometrika*, 52, 317–332.
- Allessi, S. M. & Trollip, S. R. (1985). *Computer based instruction, methods and development*. Englewood Cliffs, NY: Prentice-Hall.
- Allport, G. W. (1966). Traits revisited. *American Psychologist*, 21, 1-10.
- Alexander, P. A. (1992). Domain knowledge: Evolving themes and emerging concerns. *Educational Psychologist*, 27, 33-51.
- Alexander, P. A., Schallert, D. & Hare, V. (1991). Coming to terms: How researchers in learning and literacy talk about knowledge. *Review of Educational Research*, 61, 315-343.
- Alexander, P. A., Kulikowich, J. M. & Schulze (1994). How subject-matter knowledge affects recall and interest. *American Educational Research Journal*, 31, 313-337.
- Ames, C. (1992). Classrooms: Goals, structures, and student motivation. *Journal of Educational Psychology*, 84, 261-271.
- Ames, C. & Ames, R. (1984). Systems of student and teacher motivation: Toward a qualitative definition. *Journal of Educational Psychology*, 76, 535-556.
- Ames, C. & Archer, J. (1988). Achievement goals in the classroom: Student's learning strategies and motivation processes. *Journal of Educational Psychology*, 80, 260-267.
- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing. A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Addison Wesley Longman.
- Arbuckle, J. L. & Wothke, W. (1999). *AMOS 4.0 user's guide*. Chicago, IL: Small Waters Corporation.
- Archer, J. (1994). Achievement goals as a measure of motivation in university students. *Contemporary Educational Psychology*, 19, 430-446.
- Artelt, C. (2000). *Strategisches Lernen*. Münster: Waxmann.
- Artelt, C., Schiefele, U. & Schneider, W. (2001). Predictors of reading literacy. *European Journal of Psychology of Education*, 16, 363-383.
- Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The Psychology of Learning and Motivation, Advances in Research and Theory* (Vol 2., pp. 89-195). New York: Academic Press.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. & Hanesian, H. (1980/81). *Psychologie des Unterrichts*. Weinheim/Basel: Beltz.
- Ayres, P. (1993). Why goal-free problems can facilitate learning. *Contemporary Educational Psychology*, 12, 376-381.
- Ayres, P. (2006). Impact of reducing intrinsic cognitive load on learning in a mathematical domain, *Applied Cognitive Psychology*, 20, 287-298.
- Ayres, P. (in press). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction*.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1996a). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5-28.
- Baddeley, A. D. (1999). *Essentials of human memory*. Hove, UK: Psychology Press.
- Baddeley, A. D. (2000a). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- Baddeley, A. D. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist*, 7(2), 85-97.
- Baddeley, A. D. (2003). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. A. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 8, pp. 47-89). New York: Academic Press.

- Baddeley, A. D., Chincotta, D., Adlam, A. (2001). Working memory and the control of action: Evidence from task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 641-657.
- Baddeley, A. D., Gathercole, S. & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review*, 105, 158-173.
- Bannert, M. (2002). Managing cognitive load – Recent trends in cognitive load theory. *Learning and Instruction*, 12, 139-146.
- Bannert, M. (2003). Effekte metakognitiver Lernhilfen auf den Wissenserwerb in vernetzten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 13-25.
- Bannert, M. (2004). Designing metacognitive support for hypermedia learning. In H. Niegeman, D. Leutner & R. Brünken (Eds.), *Instructional design for multimedia-learning*. Münster: Waxmann.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bannert, M. (2002). Managing cognitive load: Recent trends in cognitive load theory. *Learning and Instruction*, 12, 139–146.
- Baumert, J. (1993). Lernstrategien, motivationale Orientierung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen im Kontext schulischen Lernens. *Unterrichtswissenschaft*, 21, 327-354.
- Baumert, J., Bos, W. & Watermann, R. (1999). *TIMSS/III. Schülerleistungen in Mathematik und den Naturwissenschaften am Ende der Sekundarstufe II im internationalen Vergleich. Zusammenfassung deskriptiver Ergebnisse* (2. Aufl.). Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Baumert, J., Heyn, S. & Köller, O. (1992). *Das Kieler Lernstrategien-Inventar (KSI)*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (Hrsg.). (2001). *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske und Budrich.
- Baumert, J. & Köller, O. (1996). Lernstrategien und schulische Leistungen. In J. Möller & O. Köller (Hrsg.), *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung* (S. 137-154). Weinheim: Beltz.
- Baumert, J., Roeder, P. M., Sang, F. & Schmitz, B. (1986). Leistungsentwicklung und Ausgleich von Leistungsunterschieden in Gymnasialklassen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32, 639-660.
- Baumert, J., Schnabel, K. & Lehrke, M. (1998). Learning math in school: Does interest really matter? In L. Hoffmann, A. Krapp, K. A. Renninger & Baumert, J. (Eds.), *Interest and learning* (pp. 327-336). Kiel: IPN-Schriftreihe.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (2000). *Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen als fächerübergreifende Kompetenz*. OECD/PISA Deutschland. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung (<http://www.mpib-berlin.mpg.de/pisa/CCCDt.pdf>). Download im November 2006.
- Baumert, J., Trautwein, U., & Artelt, C. (2003). *Schulumwelten – institutionelle Bedingungen des Lehrens und Lernens*. In J. Baumert, C. Artelt, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, K.-J. Tillmann & M. Weiß (Hrsg.), *PISA 2000. Ein differenzierter Blick auf die Länder der Bundesrepublik Deutschland* (S. 261–332). Opladen: Leske + Budrich.
- Bentler, P. M. (1985). *Theory and implementation of EQS: A structural equations program*. Los Angeles: BMDP Statistical Software.
- Bentler, P. M. (1990). Comparative fit indexes in structural models. *Psychological Bulletin*, 107, 238–246.
- Bentler, P. M. & Wu, E. (1995). *EQS structural equations program manual*. Encino, CA: Multivariate Software.
- Berry, D. & Broadbent, D. E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36 A, 209-231.

- Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1988). Interactive tasks and the implicit explicit distinction. *British Journal of Psychology*, 79, 251-272.
- Biggs, J. B. (1985). The role of metalearning in study processes. *British Journal of Educational Psychology*, 55, 185-212.
- Bindra, D. (1959). *Motivation*. New York : Ronald Press.
- Binet, A. & Simon, T. (1905). Méthodes nouvelle pour le diagnostic du niveau intellectuel des anormaux. *L'Année Psychologique*, 11, 191-244.
- Bjorklund, D. F., & Harnishfeger, K. K. (1990). Children's strategies: Their definition and origins. In D. F. Bjorklund (Ed.), *Children's strategies: Contemporary views of cognitive development*. (pp. 309-323). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Blech, Ch. & Funke, J. (2005). DYNAMIS review: An overview about applications of the DYNAMIS approach in cognitive psychology.
- Bloom, B. S. (Hrsg.) (1972). *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*. Weinheim: Beltz.
- Boekaerts, M. (1992). The adaptable learning process: Initiating and maintaining behavioral change. *Applied Psychology: An International Review*, 41, 377-379.
- Boekarts, M. (1996). Coping with stress in childhood and adolescence. In M. Zeidner & N. S. Endler (Eds.), *Handbook of coping. Theories, research, and application* (pp. 452-484). New York: Wiley.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning: A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learning and Instruction*, 7(2), 161-186.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today. *International Journal of Educational Research*, 31, 445-475.
- Boekaerts, M. & Niemivirta, M. (2000). Self-regulated learning: Finding a balance between learning goals and ego-protective goals. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner, *Handbook of self-regulation*. San Diego, CA: Academic Press.
- Boerner, S., Seeber, G., Keller, H. & Beinborn, P. (2005). Lernstrategien und Lernerfolg im Studium: Zur Validierung des LIST bei berufstätigen Studierenden. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 37, 17-26.
- Bollen, K. A. (1989b). A new incremental fit index for general structural equation models. *Sociological Methods and Research*, 17, 303-316.
- Bong, M. & Skaalvik, E. M. (2003). Academic self-concept and self-efficacy: How different are they really? *Educational Psychology Review*, 15, 1-140.
- Boyce, B. A. & Wayda, V. K. (1994). The effects of assigned and self-set goals on task performance. *Journal Of Sport & Exercise Psychology*, 16, 258-269.
- Boysen, G., Glunde, H.-G., Heise, H., Muckenfuß, H., Schepers, H., Schlichting, H. J. & Wiesmann, H.-J. (1994). *Physik für Gymnasien, Sekundarstufe I. Länderausgabe D, Teilband 2*. Cornelsen Verlag, Berlin.
- Braarud, P. O. (2001). Subjective task complexity and subjective workload: Criterion validity for complex team tasks. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 5(3), 261-273.
- Bransford, J. D., Goldman, S. R. & Vye, N. J. (1991). Making a difference in people's ability to think: Reflections on a decade of work and some hopes for the future. In R. J. Sternberg & L. Okagaki (Eds.), *Influences on children* (pp. 147-180). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bransford, J. D., Sherwood, R. D., Hasselbring, T. S., Kinzer, C. K., Williams, S. M. (1990). Anchored instruction: Why we need it and how technology can help. In Nix, D., Spiro, R. (Eds.), *Cognition, Education and Multimedia: Exploring Ideas in High Technology* (pp. 115-142). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bredthauer, W., Bruns, K. G., Klar, G., Müller, W., Schmidt, M., Wessels, P. (2002). *Impulse Physik. Klasse 8 -10 für die Gymnasien in Nordrhein-Westfalen*. Stuttgart: Ernst Klett Schulbuchverlag.
- Brezinka, W. (1974). *Grundbegriffe der Erziehungswissenschaft*. München: Reinhardt.
- Brosius, F. (2004). *SPSS 12*. Bonn: mitp-Verlag.
- Brocket, R. G., & R. Hiemstra (1991). *Self-direction in adult learning. Perspectives on theory, research and practice*. New York: Routledge.

- Brown, A. L. (1978). Knowing when, where and how to remember: A problem of metacognition. In Glaser, R. (Ed.), *Advances in instructional psychology* (pp. 77-165). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Brown, A. L. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation and understanding* (pp. 65-116). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Brown, A. L., Bransford, J. D., Ferrara, R. A. & Campione, J. C. (1983). Learning, remembering and understanding. In J. H. Flavell & E. M. Markman (Eds.), *Handbook of child psychology: Cognitive development* (pp. 77-166). New York: Wiley.
- Brown, T. C. & Latham, G. P. (2002). The effects of behavioural outcome goals, learning goals, and urging people to do their best on an individual's teamwork behaviour in a group problem-solving task. *Canadian Journal of Behavioural Science*, 2002, 34(4), 276-285.
- Browne, M. W. & Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model fit. In Bollen, K. A. & Long, J. S. (Eds.), *Testing structural equation models* (pp. 136-162). Newbury Park, CA: Sage.
- Brown, R. & Pressley, M. (1994). Self-regulated reading and getting meaning from text: The transactional strategies instruction model and its ongoing validation. In D. H. Schunk, & B. J. Zimmerman (Eds.), *Self-regulation of learning and performance* (pp. 155-179). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bruder, R. (2003). Konstruieren, auswählen – begleiten. Über den Umgang mit Aufgaben. In *Aufgaben. Jahresheft 2003* (S.12-15). Friedrich-Verlag.
- Bruner, J. S. (1970). *Der Prozess der Erziehung*. Düsseldorf: Schwann.
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31, 21-32.
- Bruner, J. S., Goodnow, J.J. & Austin, G.A. (1956). *A study of thinking*. New York: J. Wiley & Sons.
- Brünken, R., Steinbacher, S., Plass, L. & Leutner, D. (2002). Assessment of cognitive load in multimedia learning in multimedia learning using dual-task methodology. *Experimental Psychology*, 49(2), 109-119.
- Brünken, R., Plass, L. & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38 (1), 53-61.
- Brünken, R., Plass, J., Leutner, D. (2004). Assessment of cognitive load in multimedia learning with dual-task methodology: Auditory load and modality effects. *Instructional Science*, 32, 115-132.
- Brunstein, A. & Krems, J. (2005). Einfluss des Bearbeitungsziels auf die Strategiewahl beim hypertextgestützten Lernen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19 (1/2), 39-48.
- Byrne, B. M. (2001). *Structural equation modeling with AMOS, basic concepts, applications, and programming* (pp. 79-88). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Byrnes, J. P. (1995). Domain specificity and the logic of using general ability as an independent variable or covariate. *Merrill-Palmer-Quarterly*, 41, 1-24.
- Buchner, A. & Funke, J. (1993). Finite-state automata: Dynamic task environments in problem solving research. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 46A, 83-118.
- Burns, B. D. & Vollmeyer, R. (2002). Goal specificity effects on hypothesis testing in problem solving. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55A (1), 241-261.
- Cantor, G. N., Dunlap, L. L. & Rettie, C. S. (1982). Effects of reception and discovery instruction on kindergartener's performance on probability tasks. *American Educational Research Journal*, 19, 453-463.
- Cantor, N. & Fleeson, W. (1991). Life tasks and self-regulatory processes. In M. Maehr & P. Pintrich (Eds.), *Advances in motivation and achievement* (Vol. 7, pp. 327-369). Greenwich, CT: JAI Press.
- Cantor, N. & Fleeson, W. (1994). Social intelligence and intelligent goal pursuit: A cognitive slice of motivation. In W. Spaulding (Ed.), *Nebraska Symposium on Motivation* (Vol. 41, pp. 125-180). Lincoln: University of Nebraska Press.



- Cervone, D., Jiwani, N. & Wood, R. E. (1991). Goal setting and the differential influence of self-regulatory process on complex decision making performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 61, 257-266.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62, 233-246.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology*, 10, 1-20.
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Aquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, 70, 1098-1120.
- Chen, Q. & Zhang, J. (2006). Collaborative discovery learning based on computer simulation (pp. 127-146). In A. M. O' Donnell (Ed.), *Collaborative learning, reasoning, and technology*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Chi, M., Glaser, R. & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 7-75). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Clancey, W. J. (1993). Situated action: A neuropsychological interpretation response to Vera and Simon. *Cognitive Science*, 17, 87-116.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing and matematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453-494). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Conklin, J. (1987). Hypertext: An Introduction and Survey. In *IEEE Computer*, 20 (pp. 17-41).
- Corno, L. (1986). The metacognitive control components of self-regulated learning. *Contemporary Educational Psychology*, 11, 333-346.
- Corno, L. (1989). Self-regulated learning: A volitional analysis. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Hrsg.), *Self-regulated learning and academic achievement. Theory, research and practise* (S. 111-141). New York: Springer.
- Craik, F. I. M. & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processes: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- Cronbach, L. J. & Snow, R. E. (1977). *Aptitudes and instructional methods*. New York: Irvington Publishers.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. New York: Harper & Row.
- Csikszentmihalyi, M. (1999b). *Das Flow-Erlebnis. Jenseits von Tun und Langeweile: Im Tun aufgehen*. (8. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.
- Danserau, D. F. (1985). Learning strategy research. In J. W. Segal, S. F. Chipman & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills: Vol. 1 Relating instruction to research* (pp. 209-239). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Das, J. P., Naglieri, J. A. & Kirby, J. R. (1994). *Assessment of cognitive processes*. Boston: Allyn & Bacon.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behaviour*. New York: Plenum.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behaviour. *Psychological Inquiry*, 11, 227-268.
- de Jong, T. (1991). Learning and instruction with computer simulation. *Education & Computing*, 6, 215-227.
- de Jong, T. & van Joolingen (1998). Scientific discovery with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 179-201.
- de Jong, T., van Joolingen, W. R., Swaak, J., Veermans, K., Limbach, R., King, S. & Gureghian, D. (1998). Self-directed learning in simulation-based discovery environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 14, 235-246.
- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1995). The SMISLE environment: Learning with and desgin of integrated simulation learning environments. In P. Held & W. F.

- Kugemann (Eds.) *Telematics for education and training* (pp. 173-187). IOS Press: Amsterdam.
- de Jong, T., van Joolingen, W. R., Veermans, K. & van der Meij, J. (2005). Authoring discovery learning environments: In search of reusable components. In J. M. Spector & M. D. Merrill (Eds.) *Innovations in instructional technology* (pp. 11-28). Mahwah, New York.
- Diehl, J. M. & Arbinger, R. (1992). *Einführung in die Inferenzstatistik* (2. Aufl.). Eschborn: Verlag D. Klotz.
- Dörner, D. (1980a). Heuristics and cognition in complex systems. In R. Groner, M. Groner & W. F. Bischof (Eds.), *Methods of heuristics* (pp. 98-108). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dunbar, K. (1993). Concept discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, 17, 397-434.
- Dweck, C. S. (1985). Intrinsic motivation, perceived control, and self-evaluation maintenance: An achievement goal analysis. In C. Ames & R. E. Ames (Eds.), *Research on motivation in education: The classroom milieu* (pp. 289-305). New York: Academic.
- Dweck, C. S. (1986). Motivational processes affecting learning. *American Psychologist*, 41, 1040-1048.
- Dweck, C. S., & Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological Review*, 95, 256-273.
- Eckert, C., Schilling, D. & Stiensmeier-Pelster, J. (2006). Einfluss des Fähigkeitsselbstkonzepts auf Intelligenz- und Konzentrationsleistung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20, 41-48.
- Eggemeier, F. T. (1981). Current issues in subjective assessment of workload. Proceedings of the Human Factors Society 25<sup>th</sup> Annual Meeting. Santa Monica, CA: *Human Factors Society*, 513-517.
- Elshout, J. J. (1987). Problem solving and education. In E. d. Corte, H. Lodewijks, R. Parmentier & P. Span (Eds.), *Learning and instruction* (pp. 259-273). Oxford: Pergamon.
- Elliot, A. J. (1999). Approach and avoidance motivation and achievement goals. *Educational Psychologist*, 34(3), 169-189.
- Elliot, E. S. & Dweck, C. S. (1988). Goals: An approach to motivation and achievement. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54, 5-12.
- Elliot, A. J. & Harakiewicz, J. M. (1996). Approach and avoidance achievement goals and intrinsic motivation: A mediational analysis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 66, 968-980.
- Elliot, A. J. & McGregor, H. A. (2001). A 2 x 2 achievement goal framework. *Journal of Personality and Social Psychology*, 80, 501-519.
- Elischberger, H. B. (2005). The effects of prior knowledge on children's memory and suggestibility. *Journal of Experimental Child Psychology*, 92, 247-275.
- Entwistle, N. J. (1988). Motivational factors in students' approaches to learning. In R. R. Schmeck (Ed.), *Learning strategies and learning styles* (pp. 21-52). New York: Plenum.
- Erdfelder, E., Paul, F. & Buchner, A. (1996). GPOWER: A general power analysis program. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 28, 1-11.
- Feng, Y. (1996). Some thoughts about applying constructivist theories to guide instruction. *Computers in the schools*, 12, 71-84.
- Festinger, L. (1954). A theory of social comparison processes. *Human Relations*, 7, 117-140.
- Feuerlein, R., Näpfel, H. & Schäfflein, H. (1998). Physik N. Unterrichtswerk für die Sekundarstufe 1. München: Bayerischer Schulbuchverlag.
- Flavell, J. H. (1987). Speculations about the nature and development of metacognition. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, Motivation and Understanding* (pp. 21-29). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Flavel, J. H. & Wellman, H. M. (1977). Metamemory. In R. V. Kail & J. W. Hagen (Eds.), *Perspectives on the development of Memory and Cognition* (pp.3-33). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Friedrich, H. F. (1995). Analyse und Förderung kognitiver Lernstrategien. *Empirische Pädagogik*, 9, 115-153.
- Friedrich, H. F. & Mandl, H. (1990). *Psychologische Aspekte autodidaktischen Lernens. Unterrichtswissenschaft*, 18, 197-218.
- Friedrich, H. F. & Mandl, H. (1997). Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens. In F. E. Weinert & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie der Erwachsenenbildung* (S. 237-293). Göttingen: Hogrefe.
- Funke, J. (1992). *Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentationen und Anwendung*. Berlin: Springer.
- Funke, U. (2001). Dynamic systems as tools for analysing human judgement. *Thinking and reasoning*, 7(1), 69-89.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Funke, J. (2004). Komplexes Problemlösen: Möglichkeiten deduktivistischen Vorgehens. In E. Erdfelder & J. Funke (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie und deduktivistische Methodologie* (pp. 281-300). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Funke, J., Töpfer, S. & Wagener, S. (1998). Eingreifen und Prognostizieren als Determinanten von Systemidentifikation und Systemsteuerung. *Sprache & Kognition*, 7, 176-186.
- Gagné, R. M. (1965). *The conditions of learning*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Garcia, T. & Pintrich, P. R. (1994). Regulating motivation and cognition in the classroom: The role of self-schemas and self-regulatory strategies. In D. H. Schunk, & B.J. Zimmerman, *Self-regulation of learning and performance: Issues and educational applications* (pp. 127-153). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Garner, W. R. (1978). Aspects of a stimulus: Features, dimensions, and configurations. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 99-113). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Garner, R. (1990). When children and adults do not use learning strategies: Toward a theory of settings. *Review of educational research*, 60(4), 517-529.
- Gathercole, S. E. & Baddeley, A. D. (1993). *Working memory and language*. Hove: Erlbaum.
- Geddes, B. W. & Stevenson, R.J. (1997). Explicit learning of a dynamic system with a non-salient pattern. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 50A, 742-765.
- Geen, R. G. (1995). *Human motivation*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing Company.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Catrambone, R. (2004). Designing instructional examples to reduce intrinsic cognitive load: Molar versus modular presentation of solution procedures. *Instructional Science*, 32, 33-58.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Catrambone, R. (2006). Can learning from molar and modular worked examples be enhanced by providing instructional explanations and prompting self-explanations? *Learning and Instruction*, 16, 104-121.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867-888.
- Glaser, R., Schauble, L., Raghavan, K. & Zeitz, C. (1992). Scientific Reasoning across different domains. In E. d. Corte, M. C. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Eds.), *Computerbased learning environments and problem solving* (Vol. F. 84, pp. 345-371). Heidelberg: Springer.
- Goodyear, P., Njoo, M., Hijne, H., & Van Berkum, J. J. A. (1991). Learning processes, learner attributes and simulations. *Education & Computing*, 6, 263-304.
- Gopher, D. & Braune, R. (1984). On the psychophysics of workload: Why bother with subjective measures? *Human Factors*, 26, 519-532.
- Gottfried, A. E. (1985). Academic intrinsic motivation in elementary and junior high school students. *Journal of Educational Psychology*, 77, 631-645.

- Gottfried, A. E. (1990). Academic intrinsic motivation in young elementary school children. *Journal of Educational Psychology*, 82, 525-538.
- Green, A. J. K. (2002). Learning procedures and goal specificity in learning and problem-solving tasks. *European Journal of Cognitive Psychology*, 14(1), 105-126.
- Greeno, J. G. (1997). On claims that answer the wrong questions. *Educational Researcher*, 26(1), 5-17.
- Greeno, J. G., Collins, A. M. & Resnick, L. B. (1996). Cognition and learning. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 15-46). New York: Macmillan.
- Greeno, J. G., Smith, D. R. & Moore, J. L. (1993). Transfer of situated learning. In D. K. Dettermann & R. J. Sternberg (Eds.), *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction* (pp. 99-167). Norwood, NJ: Ablex.
- Guthke, J. & Wiedl, K. H. (1996). *Dynamisches Testen: Zur Psychodiagnostik der intraindividuellen Variabilität*. Göttingen: Hogrefe.
- Gustafsson, J.-E. & Undheim, J. O. (1996). Individual differences in cognitive functions. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 186-242). New York: Prentice Hall International.
- Hacker, W. (1998). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern: Huber.
- Hacker, W. (1999). Regulation und Struktur von Arbeitstätigkeiten. In Hoyos, C. G., Frey, D. (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie. Ein Lehrbuch*. Weinheim: Psychologie Verlags Union, 385-397.
- Hager, W. & Hasselhorn, M. (2000). Psychologische Interventionsmaßnahmen: Was sollen sie bewirken können? In W. Hager, J.-L. Patry & H. Brezing (Hrsg.), *Evaluation psychologischer Interventionsmaßnahmen* (S. 41-85). Bern: Huber.
- Hair, J. F. Anderson, R. E., Tatham, R. L. & Black, W. C. (1998). *Multivariate data analysis* (pp. 577-667). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Halford, G., Mayberry, M. & Bain, J. (1986). Capacity limitations in children's reasoning: A dual task approach. *Child Development*, 57, 616-627.
- Hamilton, R. J. (1997). Effects of three types of elaboration on learning concepts from text. *Contemporary Educational Psychology*, 22, 299-318.
- Hart, S. E. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task-Load-Index). Results of experimental and theoretical research. In Hancock, P. A. (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 139-183). Elsevier Science Publishers B.V., North-Holland.
- Hasselhorn, M. (1992). Metakognition und Lernen. In G. Nold (Hrsg.), *Lernbedingungen und Lernstrategien. Welche Rolle spielen kognitive Verstehensstrukturen?* (S. 35-63). Tübingen: Narr.
- Hasselhorn, M. (1996). *Kategoriales Organisieren bei Kindern. Zur Entwicklung einer Gedächtnisstrategie*. Göttingen: Hogrefe.
- Heckhausen, H. (1989). *Motivation und Handeln* (2. Aufl.). Berlin: Springer.
- Heckhausen, H. (1991). *Motivation and action*. Heidelberg: Springer.
- Heckhausen, H. & Gollwitzer, P.M. (1987). Thought contents and cognitive functioning in motivational versus volitional states of mind. *Motivation and Emotion*, 11, 101-120.
- Heimbeck, D. (1999). Goal Orientation: A comparison of two instruments and their relationship with achievement motivation. In D. Heimbeck (Ed.), *Training and Motivation: The function of implementation intentions, goal orientation and errors for performance*. (pp. 29-45). Amsterdam: Ipskamp.
- Heller, K., Gaedicke, A.-K. & Weinländer, H. (1985). *Kognitiver Fähigkeitstest (KFT 4-13)*. Weinheim: Beltz.
- Heller, K. A. & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision. Manual*. Göttingen: Beltz.
- Helmke, A. (1992). *Selbstvertrauen und schulische Leistungen*. Göttingen: Hogrefe.
- Heyman, G. D. & Dweck, C. S. (1992). Achievement goals and intrinsic motivation: Their relation and their role in adaptive motivation. *Motivation and Emotion*, 16, 231-247.

- Higgins, E. T. (1996). Knowledge acquisition: Accessability, applicability, and salience. In E. T. Higgins & A. W. Kruglanski (Eds.), *Social psychology: Handbook of basic principles* (pp. 133-168). New York: Guilford Press.
- Hoffmann, J. (1993). Unbewusstes Lernen – eine besondere Lernform? *Psychologische Rundschau*, 44 (2), 75-83.
- Holland, J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E. & Thagard, P. R. (1986). *Induction: Processes of inference, learning and discovery*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Homburg, Ch. & Baumgartner, H. (1995). Beurteilung von Kausalmodellen. *Marketing ZFP*, 17, 162-176.
- Horn, J. L. & Cattell, R. B. (1966a). Refinement and test of the theory of fluid and crystallized general intelligences. *Journal of Educational Psychology*, 57, 253-270.
- Hoyles, C. (1995). Thematic chapter: Exploratory software, exploratory cultures? In A. A. diSessa, C. Hoyles, R. Noss & L. Edwards (Eds.), *Computers and exploratory learning* (pp. 199-219). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Hucke, L. & Fischer, H. E. (2002). The link of theory and practice in traditional and in computer-based university laboratory experiments. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and learning in the science laboratory - A look on the European project "Labwork in Science Education"* (pp. 205-218). Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Huber, V. & Neale, M. A. (1986). Effects of cognitive heuristics and goals on negotiator performance and subsequent goal setting. *Organizational Behaviour and Human Decision Processes*, 38, 342-635.
- Hummel-Rossi, B. (1981). Aptitudes as predictors of achievement moderated by teacher effect. *New Directions for Testing and Measurement. Measuring human abilities*, 12, 59-86.
- Hunter, J. E. & Schmidt, F. L. (1983). Quantifying the effects of psychological interventions on employee job performance and work force productivity. *American Psychologist*, 38, 437-478.
- Hussy, W. (1984). *Denkpsychologie. Ein Lehrbuch. Band 1*. Mainz: Kohlhammer.
- Jamieson-Noel, D., & Winne, P. H. (2003). Comparing self-reports to traces of studying behavior as representations of students' studying and achievement. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 159-171.
- Jensen, S. R. (1980). *Bias in mental testing*. London: Methuen.
- Jonassen, D. H. (1991). Evaluating constructivistic Learning. *Educational Technology*, 31, 28-33.
- Jöreskog, K. G. & Sörbom, D. (1989a). *LISREL 7- user's reference guide*. Mooresville, IN: Scientific Software.
- Jöreskog, K. G. & Sörbom, D. (1993). *LISREL 8: New features in Lisrel 8*. Chicago, IL: Scientific Software International.
- Kalyuga, S. (2006). Rapid assessment of learners' proficiency: A cognitive load approach. *Educational Psychology*, 26(4), 613-627.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, 23-31.
- Kanfer, R., Ackerman, P. L., Murtha, T.C., Dugdale, B. & Nelson, L. (1994). Goal setting, conditions of practice and task performance: A resource allocation perspective. *Journal of Applied Psychology*, 79, 826-835.
- Kennedy, A. (1983). On looking into space. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements in reading: Perceptual and language processes*. Academic press.
- Kihlstrom, J. F. (1987). The cognitive unconscious. *Science*, 237, 1445-1452.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1-48.
- Klauer, K. J. (1985). Framework for a theory of teaching. *Teaching and Teacher Education*, 1, 5-17.
- Klauer, K. J. (1987). *Kriteriumsorientierte Tests*. Göttingen: Hogrefe.

- Klauwer, K. J. (1988). Teaching for learning-to-learn: A critical appraisal with some proposals. *Instructional Science*, 17(4), 351-367.
- Klauwer, K. J. (2001). Training des induktiven Denkens. In K. J. Klauer (Hrsg.). *Handbuch kognitives Training* (S. 165-210). Göttingen: Hogrefe.
- Klauwer, K. J. & Leutner, D. (2007). *Lehren und Lernen. Einführung in die Instruktionspsychologie*. Weinheim: Beltz-PVU.
- Klauwer, K. C. & Stegmaier, R. (1997). Interference in immediate spatial memory: Shifts of spatial attention or central-executive involvement. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 50A, 79-99.
- Klieme, E., Leutner, D. & Wirth, J. (Hrsg.). (2005). *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kluwe, R. H. (1993). Knowledge and performance in complex problem solving. In G. Strube, K. F. Wender (Hrsg.). *The cognitive psychology of knowledge. Advances in psychology* (Vol. 101, pp. 401-423). North-Holland, Amsterdam.
- Krapp, A. (1992). Das Interessenkonstrukt – Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze einer pädagogisch-psychologischen Interessenforschung* (S. 297-329). Münster: Aschendorff.
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Zeitschrift für Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 44, 185-201.
- Kröner, S. (2001). *Intelligenzdiagnostik per Computersimulation*. Münster: Waxmann.
- Kröner, S., Plass, J. L. & Leutner, D. (2005). Intelligence assessment with computer simulations. *Intelligence*, 33, 347-368.
- Kruglanski, A. W. (1996). Goals as knowledge structures. In P. M. Gollwitzer & J. A. Bargh (Eds.), *The psychology of action: Linking cognition and motivation to behavior*. (pp. 599-619). New York: Guilford Press.
- Kuhl, J. (1983). *Motivation, Konflikt und Handlungskontrolle*. Berlin: Springer.
- Kuhl, J. (1987). Motivation und Handlungskontrolle: Ohne guten Willen geht es nicht. In H. Heckhausen, P. M. Gollwitzer & F. E. Weinert (Hrsg.), *Jenseits des Rubikon: Der Wille in den Humanwissenschaften* (S. 101-120). Berlin: Springer.
- Künsting, J., Wirth, J. & Leutner, D. (2006, 19.10.06). *Impact of goal specificity and goal quality on the outcome of self-regulated learning and cognitive load*. Vortrag gehalten an der Open Universiteit Nederland (OTEC - Educational Technology Expertise Center, Heerlen).
- Künsting, J., Thillmann, H., Wirth, J., Fischer, H. E. & Leutner, D. (im Druck). Strategisches Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Psychologie in Erziehung und Unterricht*.
- Künsting, J., Wirth, J. & Thillmann, H. (2007, 09. – 13. April). *Impact of goal specificity and goal quality on the outcome of self-regulated learning*. Vortrag gehalten auf dem Annual Meeting der American Educational Research Association (AERA, Division C - Learning and Instruction, Section: Science). Chicago, USA.
- Latham, G. P. & Brown, T. C. (2006). The effect of learning vs. outcome goals on self-efficacy, satisfaction and performance in an MBA Program. *Applied Psychology: An International Review*, 55(4), 606-623.
- Leopold, C. & Leutner, D. (2002). Der Einsatz von Lernstrategien in einer konkreten Lernsituation bei Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45. Beiheft, 240-258.
- Leopold, C., den Elzen-Rump, V. & Leutner, D. (2006). Selbstreguliertes Lernen aus Sachtexten. In M. Prenzel & L. Allolio-Näcke (Hrsg.), *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule. Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms* (im Druck). Münster: Waxmann.

- Leutner, D. (1990). Simulation und Modellbildung. In Deutsches Institut für Fernstudien (Hrsg.), *Lehren und Lernen mit dem Computer* (Bd. 1, S. 22-52). Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien (DIFF).
- Leutner, D. (1992). *Adaptive Lehrsysteme. Instruktionspsychologische Grundlagen und experimentelle Analysen* (Habilitationsschrift). Weinheim: Beltz - Psychologie Verlags Union.
- Leutner, D. (1993). Guided discovery learning with computer-based simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learning and Instruction*, 3, 113-132.
- Leutner, D. (1995). Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme. In L. J. Issing & P. Kliemsa (Hrsg.), *Informationen und Lernen mit Multimedia – Ein Lehrbuch zur Multimedia-Didaktik und –anwendung* (S.139-147). Weinheim: PVU.
- Leutner, D. (2002). The fuzzy relationship of intelligence and problem solving in computer simulations. *Computers in Human Behavior*, 18, 685-697.
- Leutner, D., Barthel, A. & Schreiber, B. (2001). Studierende können lernen, sich selbst zum Lernen zu motivieren. Ein Trainingsexperiment. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15, 155-167.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2002a). Lehr-Lernpsychologische Grundlagen selbstregulierten Lernens. In U. Witthaus, W. Wittwer & C. Espe (Hrsg.), *Selbstgesteuertes Lernen-Theoretische und praktische Zugänge*. Bielefeld: Bertelsmann.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2003). Selbstreguliertes Lernen als Selbstregulation von Lernstrategien. Ein Trainingsexperiment mit Berufstätigen zum Lernen mit Sachtexten Unterrichtswissenschaft, *Unterrichtswissenschaft*, 31(1), S. 38-56.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2006). Selbstregulation beim Lernen aus Sachtexten. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 162-171). Göttingen: Hogrefe.
- Leutner, D., Leopold, C. & Wirth, J. (2004). Selbstreguliertes Lernen. Förderung des selbstregulierten Lernens als fächerübergreifende Kompetenz. *Essener Unikate*, 24, 46-55.
- Leutner, D., Klieme, E., Meyer K. & Wirth, J. (2005). Die Problemlösekompetenz in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehman, D. Leutner, M. Neubrand, R. Pekrun, H.-G. Rolff, J. Rost & U. Schiefele (PISA-Konsortium Deutschland) (Hrsg.), *PISA 2003. Der zweite Vergleich der Länder in Deutschland - Was wissen und können Jugendliche?* (S. 125-146). Münster: Waxmann.
- Lewin, K. (1946). Action research and minority problems. *Journal of Social Issues*, 2, 34-46.
- Lewis, R. & Want, D. (1980). Educational Computing at Chelsea (1969-79). In R. Lewis & E. D. Tagg (Eds.), *Computer Assisted Learning* (pp. 163-176). North Holland Publishing, Amsterdam.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1994). *Testaufbau und Testanalyse* (5. Auflage). Weinheim: Beltz, PVU.
- Locke, E. A. & Latham, G. P. (1990). *A theory of goal setting & task performance*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Loehlin, J. (1987). *Latent variable models*. Hillsdale: NJ.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove, England: Erlbaum.
- Lonka, K. Lindblom-Ylänne, S. & Maury, S. (1994). The effect of study strategies on learning from text. *Learning and Instruction*, 4, 253-271.
- Lunetta, V. M. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In K. Tobin & B. Fraser (Eds.), *International Handbook of Science Education*. Amsterdam: Kluwer.
- Mähler, C. & Hasselhorn, M. (2001). Transfer. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Psychologie Verlags Union, Weinheim: Beltz.
- Mager, R. F. (1969). *Lernziele und Programmierter Unterricht* (3. Aufl). Weinheim: Beltz.

- Mandl, H., Gruber, H., Renkl, A. (1993). Misconceptions and knowledge compartmentalization. In G. Strube & F. Wender (Eds.), *The cognitive psychology of knowledge* (pp. 161-176). Amsterdam: Elsevier.
- Marcus, N., Cooper, M. & Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of Educational Psychology*, 88, 49-63.
- Marsh, H. W. (1986). Verbal and math self-concepts: An internal/external frame of reference model. *American Educational Research Journal*, 23, 129-149.
- Marsh, H. W., Balla, J. R., & Hau, K. (1996). An evaluation of incremental fit indices: A clarification of mathematical and empirical properties (pp.315-353). In G. A. Marcoulides and R. E. Schumacker (Eds.), *Advanced structural equation modeling: Issues and techniques*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Mawer, R. & Sweller, J. (1982). The effects of subgoal density and location on learning during problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 8, 252-259.
- Mayberry, M., Bain, J. & Halford, G. (1986). Information processing demands of transitive inference. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 12, 600-613.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59(1), 14-19.
- Mayer, R. E., & Greeno, J.G. (1972). Structural differences between learning outcomes produced by different instructional methods. *Journal of Educational Psychology*, 63, 165-173.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38 (1), 43-52. CA: Erlbaum.
- Medin, D. L. & Ross, B. H. (1989). The specific character of abstract thought: Categorization, problem solving, and induction. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 5, pp. 189-223). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Meece, J. L. (1994). The role of motivation in self-regulated learning. In D. H. Schunk & B. J. Zimmerman (Eds.), *Self-regulation of learning and performance: Issues and educational applications* (pp. 25-44). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Meece, J. L., Blumenfeld, P. C. & Hoyle, R. H. (1988). Students' goal orientations and cognitive engagement in classroom activities. *Journal of Educational Psychology*, 80, 514-523.
- Meincke, J. & Sydow, H. (1985). Zur Entwicklung und ersten Erprobung eines Programms zum Training geistiger Operationen im Vorschulalter. *Zeitschrift für Psychologie*, 193, 325-337.
- Mento, A. J., Steel, R. P. & Karren, R. J. (1987). A meta-analytic study of the effects of goal setting on task performance: 1966-1984. *Organizational behaviour and Human Decision Processes*, 39, 52-83.
- Merzyn, G. (1994). *Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht. Beiträge auf der Grundlage einer Befragung westdeutscher Physiklehrer*. Kiel, Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN 139), Universität Kiel.
- Meyer, H. L. (1977). *Trainingsprogramm zur Lernzielanalyse*. Kronberg: Athenäum.
- Meyer, J. P. & Gellatly, I. R. (1988). Perceived performance norm as a mediator in the effect of assigned goal and task performance. *Journal of Applied Psychology*, 73(3), 410-420.
- Meyer, L. & Schmidt, G.-D. (Hrsg.) (2005). *Physik. Gesamtband Sekundarstufe I*. Duden Paetec Schulbuchverlag, Berlin.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Miller, C. S., Lehman, J. F. & Koedinger, K. R. (1999). Goals and learning in microworlds. *Cognitive Science*, 23, 305-336.
- Mischel, W. (1971). *Introduction to Personality*. New York: Holt, Rinehart & Winston.



- Möller, J. & Köller, O. (1998). Dimensionale und soziale Vergleiche nach schulischen Leistungen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 30, 118-127.
- Möller, J. & Köller, O. (2001). Dimensional comparisons: An experimental approach to the Internal/External frame of reference model. *Journal of Educational Psychology*, 93, 826-835.
- Moos, D. C. & Azevedo, R. (2006). The role of goal structure in undergraduates' use of self-regulatory processes in two hypermedia learning tasks. *Journal of educational multimedia and hypermedia*, 15(1), 49-86.
- Moreno, R. & Valdez, A. (2005). Cognitive load and learning effects of having students organize pictures and words in multimedia environments: The role of student interactivity and feedback. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 5-13.
- Nelson, K. (1986). Event knowledge: Structure and function in development. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Neisser, U., Boodoo, G., Bouchard, T. J. J., Boykin, A. W., Brody, N., Ceci, S. J., et al. (1996). Intelligence: Knowns and unknowns. *American Psychologist*, 51, 77-101.
- Newell, A. and Simon, H. (1963). GPS: A program that simulates human thought. In Feigenbaum & Feldman (Eds.), *Computers and Thought* (pp. 279-293). McGraw-Hill, New York.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Nicholls, J. G. (1984). Achievement motivation: Conceptions of ability, subjective experience, task choice and performance. *Psychological Review*, 91, 328-346.
- Nicholls, J. G. (1992). Students as educational theorists. In D. H. Schunk & J. L. Meece (Eds.), *Students perceptions in the classroom* (pp. 267-287). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Nolen, S. B. (1988). Reasons for studying: Motivational orientations and study strategies. *Cognition and Instruction*, 5, 269-287.
- Norman, D. A. & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation* (Vol. 4, pp. 1-18). New York: Plenum.
- Oberauer, K. (1997). *Intentionalität und Reflexion*. Münster: Aschendorff.
- OECD (2001). *Knowledge and skills for life. First Results from PISA 2000*. Paris: OECD.
- OECD (2003). *The PISA 2003 Assessment framework – Mathematics, reading, science and problem solving knowledge and skills*. Paris: OECD.
- Oettingen, G. & Gollwitzer, P. M. (2000). Das Setzen und Verwirklichen von Zielen. *Zeitschrift für Psychologie*, 208(3-4), 406-430.
- Ornstein, P. A., Meritt, K. A., Baker-Ward, L., Furtado, E., Gordon, B. N., & Principe, G. (1998). Children's knowledge, expectation, and long-term retention. *Applied Cognitive Psychology*, 12, 387-405.
- Owen, E. & Sweller, J. (1985). What do students learn while solving mathematics problems? *Journal of Educational Psychology*, 77, 272-284.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84, 429-434.
- Paas, F. (1993). *Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks*. Ph.D. Thesis. Enschede: University of Twente.
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2004). Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional Science*, 32, 1-8.

- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H. & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38, 63-71.
- Paas, F., Tuovinen, J., van Merriënboer, J. J. G., & Darabi, A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology, Research & Development*, 53, 25-33.
- Paas, F. & van Gog, T. (2006). Optimising worked example instruction: Different ways to increase germane cognitive load. *Learning and Instruction*, 16, 87-91.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors*, 35, 737-743.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (1994b). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86, 122-133.
- Paris, S. G., Lipson, M. Y. & Wixson, K. K. (1983). Becoming a strategy reader. *Contemporary Educational Psychology*, 8, 293-316.
- Pazzani, M. J. (1991). Influence of prior knowledge on concept acquisition: experimental and computational results. *Journal of experimental psychology*, 17, 416-432.
- Pearson, G. D. (2006). The episodic buffer. Implications and connections with visuo-spatial research. In T. Vecchi, G. Bottini (Eds.), *Imagery and spatial cognition: Methods, models and cognitive assessment* (pp. 150-164). John Benjamin's Publishing. Amsterdam, Netherlands.
- Pellegrino, J. W. & Glaser, R. (1980). Components of inductive reasoning. In R. Snow, P. A. Frederico & W. Montague (Eds.), *Aptitude, learning, and instruction: Cognitive process analyses of aptitude* (Bd. 1, pp.177-217). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pekrun, R. (1988). *Emotion, Motivation und Persönlichkeit*. München: Psychologische Verlags Union.
- Perkins, D. N. & Simmons, R. (1988). Patterns of misunderstanding: An integrative model of science, math, and programming. *Review of Educational Research*, 58, 303-326.
- Piaget, J. (1974). *Der Aufbau der Wirklichkeit beim Kinde*. Stuttgart: Klett.
- Piaget, J. (1983). *Meine Theorie der geistigen Entwicklung*. Frankfurt am Main: Fischer.
- Pickl, C., Schmitz, B., Fischer, R. & Heusel (2001). Prozessuale Evaluation eines Trainingsprogrammes für Lernstrategien im schulischen Kontext. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 48, 14-29.
- Pintrich, P. R. (1999). The role of motivation in promoting and sustaining self-regulated learning. *International Journal of Educational Research*, 31, 459-470.
- Pintrich, P. R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of Self-Regulation* (pp. 451-502). San Diego: Academic Press.
- Pintrich, P. R. & Garcia, T. (1993). Intraindividual differences in students' motivation and self-regulated learning. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 7, 99-107.
- Pintrich, P. R. & Schrauben, B. (1992). *Student's motivational beliefs and their cognitive engagement in classroom tasks*. In D. Schunk & J. Meece (Eds.), *Student perceptions in the classroom tasks: Causes and consequences* (pp. 149-183). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Prins, F. J., Veenman, M. V. J. & Elshout, J. J. (2006). The impact of intellectual ability and metacognition on learning: New support for the threshold of problematicity theory. *Learning and Instruction*, 16, 374-387.
- Prenzel, M. & Mandl, H. (1991). Transfer of learning from a constructivist perspective. In T. M. Duffy, J. Lowyck & D. H. Jonassen (Hrsg.), *Designing environments for constructive learning* (S. 315-329). Berlin: Springer.
- Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M., Pekrun, R., Rolff, H.-G., Rost, J. & Schiefele, U. (Hrsg.). (2004). *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann.

- Prenzel, M., Rost, J., Senkbeil, M., Häußler, P. & Klopp, A. (2001). Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert, E. Klieme, M., Neubrand, M., Prenzel, U., Schiefele, W., Schneider, P., Stanat, K.J. Tillmann & Weiß (Hrsg.), *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (S. 191-248). Opladen: Leske und Budrich.
- Rost, J., Senkbeil, M., Walter, O., Carstensen, C. H. & Prenzel, M. (2005). Naturwissenschaftliche Grundbildung im Ländervergleich. In M., Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner, M. Neubrand, R. Pekrun, J. Rost & U. Schiefele (Hrsg.), *PISA 2003. Der zweite Ländervergleich in Deutschland – Was wissen und können Jugendliche?* (S. 103-124). Münster: Waxmann.
- Pressley, M. & Afflerbach, P. (1995). *Verbal protocols of reading: The nature of constructively responsive reading*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pressley, M., Borkowsky, J. G. & Schneider, W. (1989). Good information processing: What it is and how education can promote it. *International Journal of Educational Research*, 13, 857-867.
- Preußler, W. (1997). Effekte des Kontextes auf den Wissenserwerb bei der Steuerung eines dynamischen Systems. *Sprache und Kognition*, 16(1), 48-59.
- Raaheim, K. (1988). Intelligence and task novelty. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human mind* (Vol. 4, pp. 73-97). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rawsthorne, L. J. & Elliot, E. L. (1999). Achievement goals and intrinsic motivation: A meta-analytic review. *Personality and Social Psychology Review*, 3, 326-344.
- Read, S. J., Druian, P. R. & Miller, L. C. (1989). The role of causal sequence in the meaning of action. *British Journal of Social Psychology*, 28, 341-351.
- Reinmann-Rothmeier, G., Mandl, H., Prenzl, M. (1994). Computerunterstützte Lernumgebungen: Planung, Gestaltung und Bewertung. Publicis-MCD-Verlag: Erlangen.
- Reigeluth, C. M. & Schwartz, E. (1989). An instructional theory for the design of computer-based simulations. *Journal of Computer-Based Instruction*, 16, 1-10.
- Renkl, A. (1996a). Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau*, 47, 78-92.
- Renkl, A. (1996b). Vorwissen und Schulleistung. In J. Möller & O. Köller (Hrsg.), *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung* (S. 175-190). Weinheim: PVU.
- Renkl, A. (1997). Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive Science*, 21, 1-29.
- Renkl, A., Atkinson, R. K., & Maier, U. H. (2000). From studying examples to solving problems: Fading worked-out solution steps helps learning. In L. Gleitman & A. K. Joshi (Eds.), *Proceeding of the 22nd Annual Conference of the Cognitive Science Society* (p. 393-398). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Renkl, A. & Stern, E. (1994). Die Bedeutung von kognitiven Eingangsvoraussetzungen und Unterricht für das Lösen von einfachen und komplexen Textaufgaben. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 8, 27-39.
- Rheinberg, F. (1989). *Zweck und Tätigkeit*. Göttingen: Hogrefe.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47(2), 57-66. Göttingen: Hogrefe.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Engeser, S. (2003). Die Erfassung des Flow-Erlebens. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Eds.), *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept, Tests und Trends N.F. Bd. 2* (pp. 261-279). Göttingen: Hogrefe.
- Rubio, S., Diaz, E., Martin, J., Puente, J. M. (2004). Evaluation of the *subjective mental workload*: A comparison of SWAT, NASA-TLX, and workload profile methods. *Applied Psychology: An international review*, 53(1), 61-86.
- Reid, G. B. and Nygren, T. E. (1988). The subjective workload assessment technical: A scaling procedure for measuring mental workload. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload* (pp. 185-218). Amsterdam: North Holland.

- Rivers, R. H. & Vockel, E. (1987). Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 403-415.
- Ronis, D. C. (1981). Comparing the magnitude of effects in ANOVA. *Educational and Psychological Measurement*, 41, 993-1000.
- Rost, J., Walter, O., Carstensen, C. H., Senkbeil, M. & Prenzel, M. (2004). Naturwissenschaftliche Kompetenz. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner, M. Neubrand, R. Pekrun, H.-G. Rolff, J. Rost & U. Schiefele (Hrsg.), *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (S. 111-146). Münster: Waxmann.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 54-67.
- Ryan, R. M. (1982). Control and information in the intrapersonal sphere: An extension of cognitive evaluation theory. *Journal of Personality and Social Psychology*, 43, 450-461.
- Salden, R. J. C. M., Paas, F., Broers, N., & Van Merriënboer, J. J. G. (2004). Mental effort and performance as determinants for the dynamic selection of learning tasks in air-traffic control training. *Instructional Science*, 32, 153-172.
- Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R. A., Schulze, S. & John, J. (1995). Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science understanding. *The Journal of the Learning Sciences*, 4, 131-166.
- Schecker, H. & Klieme, E. (2001). Mehr Denken, weniger Rechnen. Konsequenzen aus der internationalen Vergleichsstudie TIMSS für den Physikunterricht. *Physikalische Blätter*, 57(7/8), 113-117.
- Schiefele, U. (1996). Konzeptionen der Lernmotivation. In U. Schiefele (Hrsg.), *Motivation und Lernen mit Texten* (S.49-90). Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U. & Pekrun, R. (1996). Psychologische Modelle des fremdgesteuerten und selbstgesteuerten Lernens. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Pädagogische Psychologie: Bd. 2 Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 249-278). Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U., Krapp, A. & Winteler (1992). Interest as predictor of academic achievement: A meta-analysis of research. In K. A. Renninger, S. Hidi, & A. Krapp (Eds.), *The role of interest in learning and development* (pp. 183-212). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schiefele, H., Prenzel, M., Krapp, A., Kasten, A. & Heiland, H. (1983). *Zur Konzeption einer pädagogischen Theorie des Interesses*. Gelbe Reihe – Arbeiten zur empirischen Pädagogik und Pädagogischen Psychologie Nr. 6. München: Institut für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie der Universität München.
- Schlagmüller, M. & Schneider, W. (1999). Metacognitive knowledge about text processing: A questionnaire. *Unpublished manuscript*. Universität Würzburg.
- Schmeck, R. R. (1988a). An introduction to strategies and styles of learning. In R. R. Schmeck (Ed.), *Learning strategies and learning styles* (pp. 3-19). New York: Plenum Press.
- Schmitz, B. (2003). Selbstregulation – Sackgasse oder Weg mit Forschungsperspektive? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17 (3/4), 221-232.
- Schneider, W. (1996). Zum Zusammenhang zwischen Metakognition und Motivation bei Lern- und Gedächtnisvorgängen. In C. Spiel, U. Kastner-Koller & P. Deimann (Hrsg.), *Motivation und Lernen aus der Perspektive lebenslanger Entwicklung* (S. 121-133). Münster: Waxmann.
- Schneider, W., Körkel, J. & Weinert, F. E. (1989). Domain-specific knowledge and memory performance: A comparison of high- and low-aptitude children. *Journal of Educational Psychology*, 81, 306-312.
- Schneider, K. & Schmalt, H.D. (2000). *Motivation* (3. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Schneider, W. & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.

- Schnotz, W. (1994). Aufbau von Wissensstrukturen. *Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: PVU.
- Schnotz, W. & Rasch, T. (2005). Enabling, facilitating, and inhibiting effects of animations in multimedia learning: Why reduction of cognitive load can have negative effects on learning. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 47-58.
- Schommer, M. (1993). Epistemological development and academic performance among secondary students. *Journal of Educational Psychology*, 85, 406-411.
- Schraagen, J. M. (1993). How experts solve a novel problem in experimental design. *Cognitive Science*, 17, 285-309.
- Schreiber, B. (1998). *Selbstreguliertes Lernen*. Münster Waxmann.
- Schrettenbrunner, H. (1992). The development and evaluation of a geography computer simulation. In H. Schrettenbrunner & J. van Westrhenen (Eds.), *Empirical research and geography reaching* (Nederlandse Geografische Studies 142) (pp. 19-46). Utrecht/Amsterdam: Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig GenootschapXentrum voor Educatieve Geografie Vrije Universiteit Amsterdam.
- Schunk, D. H. & Swartz, C. W. (1993). Goals and progress feedback: Effects on self-efficacy and writing achievement. *Contemporary educational psychology*, 18, 337-354.
- Schunk, D. & H. & Zimmerman, B. J. (1998). *Self-regulated learning: From teaching to self-reflective practice*. New York: Guilford.
- Schunn, Ch. D. & Anderson, J. R. (1999). The generality/specificity of expertise in scientific reasoning. *Cognitive Science*, 23(3), 337-370.
- Seidel, T., Prenzel, M., Duit, R., Euler, M. et al. (2002). „Jetzt bitte alle nach vorne schauen!“ - Lehr-Lernskripts im Physikunterricht und damit verbunden Bedingungen für individuelle Lernprozesse. *Unterrichtswissenschaft*, 30, 52-77.
- Seufert, T. & Brünken, R. (2006). Cognitive load and the format of instructional aids for coherence formation. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 321-331.
- Sibberns, H. & Baumert, J. (2001). Stichprobenziehung und Stichprobengewichtung (Anhang A). In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, P. Stanat, K-J. Tillmann & M. Weiß (Hrsg.), *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (S. 511-524). Opladen: Leske + Budrich.
- Simon, H. A. (1974). How big is a chunk? *Science*, 183, 482-488.
- Simons, P. R. J. (1992). Lernen, selbstständig zu lernen – ein Rahmenmodell. In H. Mandl & F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien. Analyse und Intervention* (S. 251-264). Göttingen: Hogrefe.
- Simon, H. A. & Lea, G. (1974). Problem solving and rule induction: A unified view. In L. W. Gregg (Ed.), *Knowledge and cognition* (pp. 105-127). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Skaalvik, E. M. & Skaalvik, S. (2002). Internal and external frames of reference for academic self-concept. *Educational Psychology*, 37, 233-244.
- Skinner, B. F. (1953). *Science and human behavior*. New York: Macmillan.
- Spearman, C. (1923). *The nature of intelligence and the principles of cognition*. London: Macmillan.
- Spinath, B. Spinath, F., Harlaar, N. & Plomin, R. (2006). Predicting school achievement from general cognitive ability, self-perceived ability, and intrinsic value. *Intelligence*, 34, 363-374.
- Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, P. J. and Anderson, D. K. (1988). *Cognitive flexibility theory: advanced knowledge acquisition in ill-structured domains* (Technical Report no. 441), Champaign, IL: University of Illinois, Center for the Study of Reading.
- Spiro, R., Jehng, J.-C. (1990). Cognitive flexibility and hypertext: Theory and technology for the nonlinear and multidimensional traversal of complex subject matter. In Nix, D., Spiro, R. (Eds), *Cognition, Education and Multimedia: Exploring Ideas in High Technology* (pp. 163-206). Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Stern, E. (2001). Intelligenz, Wissen, Transfer und der Umgang mit Zeichensystemen. In E. Stern & J. Guthke (Hrsg.), *Perspektiven der Intelligenzforschung* (S. 163-2003). Lengerich: Pabst.

- Stern, W. (1912). *The psychological methods of intelligence testing*. Baltimore: Warwich and York.
- Sternberg, R. J. (1984). Toward a triarchic theory of human intelligence. *Behavioral and Brain Sciences*, 7, 269-287.
- Sternberg, R. J. (1985). *Beyond IQ. A triarchic theory of human intelligence*. New York: Cambridge University Press.
- Sternberg, R. J. (2005). The theory of successful intelligence. *Interamerican Journal of Psychology*, 39(2), 189-202.
- Sternberg, R. J. (1999). Intelligence as developing expertise. *Contemporary Educational Psychology*, 24(4), 359-375.
- Stiensmeier-Pelster, J., Balke, S. & Schlangen, B. (1996). Lern- vs. Leistungsziele als Bedingungen des Lernverhaltens und des Lernfortschritts. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie*, 28, 169-187.
- Stiensmeier-Pelster, J. & Schlangen, B. (1996). Erlernte Hilflosigkeit und Leistung. In J. Möller & O. Köller (Hrsg.), *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung* (S. 69-90). Weinheim: Beltz/PVU.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen*. Göttingen: Hogrefe.
- Süß, H.-M., Kersting, M. & Oberauer, K. (1993). Zur Vorhersage von Steuerungsleistung an computersimulierten Systemen durch Wissen und Intelligenz. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 14, 189-203.
- Sweller, J. (1983). Control mechanisms in problem solving. *Memory and Cognition*, 11, 32-40.
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load during problem solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction*, 4, 295-312.
- Sweller, J. (2006). The worked example effect and human cognition. *Learning and Instruction*, 16, 165-169.
- Sweller, J. & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 8, 463-474.
- Sweller, J., Mawer, R. & Ward, M. (1983). Development of expertise in mathematical problem solving. *Journal of Experimental Psychology (General)*, 112, 634-656.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-295.
- Todt, E. (1985). Die Bedeutung der Schule für die Entwicklung der Interessen von Kindern und Jugendlichen. *Unterrichtswissenschaft*, 13, 362-376.
- Toms, M., Morris, N. & Ward, D. (1993). Working Memory and conditional reasoning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 46A(4), 679-699.
- Thillmann, H., Künsting, J., Wirth, J. & Leutner, D. (2006, September). *Zum Zusammenspiel von Strategiewissen, Strategienutzung und Motivation beim selbstregulierten Lernen durch Experimentieren*. Tagungsbeitrag (Vortrag) zum 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (DGPs), Nürnberg.
- Tindall-Ford, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1997). When two sensory modes are better than one. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3, 257-287.
- Trumpower, D., Goldsmith, T. E. & Guynn, M. J. (2004). Goal specificity and knowledge acquisition in statistics problem solving: Evidence for attentional focus. *Memory & Cognition*, 32(8), 1379-1388.
- Tsang, P., & Velazquez, V. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics* 30(3), 358-381.
- Tschirgi, J. E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, 51, 1-10.
- Tucker, L. R. & Lewis, C. (1973). A reliability coefficient for maximum likelihood factor analysis. *Psychometrika*, 38, 1-10.

- Tuovinen, J. & Sweller, J. (1999). A Comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 334-341.
- Undheim, J., & Gustafsson, J. (1987). The hierarchical organization of cognitive abilities: Restoring general intelligence through the use of linear structural relations. *Multivariate Behavioral Research*, 22, 149-171.
- Urhahne, D., Prenzel, M., von Davier, M., Senkbeil, M. & Bleschke, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht - Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *Zeitschrift für die Pädagogik der Naturwissenschaften*, 6, 157-186.
- VandeWalle, D. (1997). Development and validation of a work domain goal orientation instrument. *Educational and Psychological Measurement*, 57, 995-1015.
- VandeWalle, D., Cron, W. L., & Slocum, J. W. (2001). The role of goal orientation following performance feedback. *Journal of Applied Psychology*, 86, 629-640.
- Van de Vijver, F. & Hambleton, R. K. (1996). Translating tests: Some practical guidelines. *European Psychologist*, 1(2), 89-99.
- van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1997). An extended dual search space model of scientific discovery learning. *Instructional Science*, 25, 307-346.
- Vansteenkiste, M., Simons, J., Lens, W., Sheldon, K. M. & Deci, E. L. (2004). Motivating learning, performance, and persistence: The synergistic effects of intrinsic goal contents and autonomy-supportive contexts. *Journal of Personality and Social Psychology*, 87(2), 246-260.
- Veenman, M. V. J. (1993). *Intellectual ability and metacognitive skill: Determinants of discovery learning in computerized learning environments*. Amsterdam: University of Amsterdam.
- Veenman, M. V. J. & Beishuizen, J. J. (2004). Intellectual and metacognitive skills of novices while studying texts under conditions of text difficulty and time constraint. *Learning and Instruction*, 14, 621-640.
- Veenman, M. V. J. & Elshout, J. J. (1995). Differential effects of instructional support on learning in simulation environments. *Instructional Science*, 22, 363-383.
- Veenman, M. V. J. & Elshout, J. J. (1999). Changes in the relations between cognitive and metacognitive skills during the acquisition of expertise. *European Journal of Psychology and Education*, 14, 509-523.
- Veenman, M. V. J., Prins, F. J. & Elshout, J. J. (2002). Initial inductive learning in a complex computer simulated environment: the role metacognitive skills and intellectual ability. *Computers in Human Behavior*, 18, 327-341.
- Veenman, M. V. J. & Spaans, M. A. (2005). Relation between intellectual and metacognitive skills: Age and task differences. *Learning and Individual Differences*, 15, 159-176.
- Verwey, W. B. & Veltman, H. A. (1996). Detecting short periods of elevated workload: A comparison of nine workload assessment techniques. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2, 270-285.
- Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (1996). Hypotheseninstruktion und Zielspezifität: Bedingungen, die das Erlernen und Kontrollieren eines komplexen Systems beeinflussen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 4, 657-683.
- Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2002). Goal Specificity and Learning with a Hypermedia Program. *Experimental Psychology*, 49(2), 98-108.
- Vollmeyer, R., Burns, B. D. & Holyoak, K. L. (1996). The impact of goal specificity on strategy use and the acquisition of problem structure. *Cognitive Science*, 20, 75-100.
- Vollmeyer, R., Burns, B. D. & Rheinberg, F. (2000). Goal-specificity and learning with a multimedia program. In L. R. Gleitman & A. K. Joshi (Eds.), *Proceedings of the Twenty-Second Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 541-546). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (1998). Motivationale Einflüsse auf Erwerb und Anwendung von Wissen in einem computersimulierten System. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12, 11-23.
- Vosniadou, S. (1994b). From cognitive theory to educational technology. In S. Vosniadou, E. DeCorte & H. Mandl (Eds.), *Technology-based learning environments. Psychological and educational foundations* (pp. 11-18). Berlin: Springer.
- Weiner, B. (1994). *Motivationspsychologie*. Weinheim: Beltz.
- Weinert, F. E. (1982). Selbstgesteuertes Lernen als Voraussetzung, Methode und Ziel des Unterrichts. *Unterrichtswissenschaft*, 10, 99-110.
- Weinert, F. E. (1989). *Is the past the best predictor of the future? Short- and long-term predictability of individual differences in children's cognitive achievement* (Paper 5/1989) München: Max Planck Institut für Psychologische Forschung.
- Weinert, F. E., Schrader, F. W. & Helmke, A. (1989). Quality of instruction and achievement outcomes. *International Journal of Educational Research*, 13, 895-914.
- Weinstein, C. E. & Mayer, R. E. (1986). The teaching of learning strategies. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (Vol. 3, pp. 315-327). New York: Macmillan.
- White, B. Y. (1993). ThinkerTools: Causal models, conceptual change, and science education. *Cognition and Instruction*, 10, 1-100.
- Whitehead, A. N. (1929). *The aims of education*. New York: Macmillan.
- Wild, K.-P. (2000). *Lernstrategien im Studium*. Münster: Waxmann.
- Wild, K.-P., Krapp, A. & Winteler, A. (1992). Die Bedeutung von Lernstrategien zur Erklärung des Einflusses von Studieninteresse auf Lernleistungen. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessensforschung* (S. 279-295). Münster: Aschendorff.
- Wild, K.-P. & Schiefele, U. (1994). Lernstrategien im Studium: Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neuen Fragebogens. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 15 (4), 185-200.
- Willoughy, T. & Wood, E. (1994). Elaborative interrogation examined at encoding and retrieval. *Learning and Instruction*, 4, 139-149.
- Winn, W. D. (1991). The assumptions of constructivism and instructional design. *Educational Technology*, 31 (9), 38 -40.
- Winne, P. H. (2005). A perspective on state-of-the-art research on self-regulated learning. *Instructional Science*, 33, 559-565.
- Winne, P. H. & Hadwin, A. F. (1998). Studying as self-regulated learning. In D. J. Hacker, J. Dunlosky & A. C. Graesser (Eds.), *Metacognition in Educational Theory and Practice* (pp. 277-304). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Winters, D. & Latham, G. P. (1996). The effect of learning versus outcome goals on a simple versus a complex task. *Group & Organization Management*, 21, 236-253.
- Wirth, J. (2004). *Selbstregulation von Lernprozessen*. Münster: Waxmann.
- Wirth, J. (2005). Selbstreguliertes Lernen in komplexen und dynamischen Situationen. In Artelt, C. & Moschner, B. (Hrsg.), *Lernstrategien und Metakognition. Implikationen für Forschung und Praxis* (S. 101-127). Waxmann Verlag.
- Wirth, J., Künting, J. & Leutner, D. (2007, 24.-26. März). *The impact of goal quality and goal specificity on learning outcome and cognitive load*. Vortrag auf der International Conference on Cognitive Load Theory, University New South Wales, Sydney, Australia.
- Wirth, J. & Leutner, D. (2006). Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 172-184). Göttingen: Hogrefe.
- Wirth, J., Meyer, K. & Leutner, D. (2005, August). *Assessing behavioral and reflective aspects of metacognition*. Paper presented at the 11<sup>th</sup> Biennial Conference of the European Association for Research on Learning and Instruction (Earli), Nicosia, Cyprus.



- Wolters, C. (2004). Advancing achievement goal theory: Using goal structures and goal orientations to predict student's motivation, cognition and achievement. *Journal of Educational Psychology*, 96(2), 236-250.
- Wyatt, D., Pressley, M., El-Dinary, P. B., Stein, S., Evans, P. & Brown, R. (1993). Comprehension strategies, worth and credibility monitoring, and evaluations: Cold and hot cognition when experts read professional articles that are important to them. *Learning and Individual Differences*, 5, 49-72.
- Xie, B. & Salvendy, G. (2000). Prediction of mental workload in single and multiple task environments. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 4, 213-242.
- Yeung, A. S., Jin, P. & Sweller, J. (1997). Cognitive load and learner expertise: Split-attention and redundancy effects in reading with explanatory notes. *Contemporary Educational Psychology*, 23, 1-21.
- Zimmerman, B. J. (1989). A social cognitive view of self-regulated learning and academic learning. *Journal of Educational Psychology*, 81(3), 329-339.
- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 13-41). San Diego, CA: Academic Press.
- Zimmerman, B. J., & Kitsantas, A. (1996). Self-regulated learning of a motoric skill: The role of goal setting and self-monitoring. *Journal of Applied Sport Psychology*, 8, 60-75.
- Zimmerman, B. J. & Martinez-Pons, M. (1990). Student differences in self-regulated learning: Relating grade, sex, and giftedness to self-efficacy and strategy use. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 51-59.
- Zimmerman, B. J. & Schunk, D. H. (1989). *Self-regulated learning and academic achievement: Theory, research, and practice*. New York: Springer.

## **9 Verzeichnisse**

### **9.1 Tabellenverzeichnis**

|  |     |
|--|-----|
| Tabelle 1: Taxonomie von Wissensformen in Anlehnung an Süß (1996).....                       | 11  |
| Tabelle 2: Die vier Grundformen des Lernens nach Ausubel et al. (1989/1981).....             | 13  |
| Tabelle 3: Taxonomie von Beispielen für Zielvorgaben aus vier bisherigen Studien .....       | 55  |
| Tabelle 4: Itemkennwerte für die 20 Items der reliablen Prätestversion .....                 | 86  |
| Tabelle 5: Itemkennwerte für die 18 Items der reliablen Posttestversion .....                | 87  |
| Tabelle 6: Itemkennwerte für den Wissensanwendungstest (korrelative Studie) .....            | 88  |
| Tabelle 7: Deskriptive Statistiken und Reliabilitäten (N = 436, korrelative Studie) .....    | 90  |
| Tabelle 8: Interkorrelationen aller Variablen der korrelativen Studie (N = 436).....         | 93  |
| Tabelle 9: Überblick über die schulformspezifischen ANOVA-Kontrasteffekte.....               | 102 |
| Tabelle 10: Kombination von Zielqualität und Zielspezifität als 2 x 2-Design .....           | 113 |
| Tabelle 11: Itemkennwerte der zwei Skalen Lernziel- und<br>Problemlösezielorientierung ..... | 118 |
| Tabelle 12: Itemkennwerte für die Gesamtskala Lernzielorientierung .....                     | 120 |
| Tabelle 13: Item-Kennwerte für die cognitive load-Skala .....                                | 123 |
| Tabelle 14: Item-Kennwerte für den Wissens-Prätest (experimentelle Studie) .....             | 124 |
| Tabelle 15: Item-Kennwerte für den Wissens-Posttest (experimentelle Studie).....             | 124 |
| Tabelle 16: Item-Kennwerte für den Wissensanwendungstest (experimentelle Studie)             | 126 |
| Tabelle 17: Mittelwerte, Standardabweichungen und Reliabilitäten der Skalen .....            | 127 |
| Tabelle 18: Korrelationsmatrix aller Variablen in der Gesamtstichprobe (N = 233).....        | 128 |
| Tabelle 19: 2 x 2-ANCOVA zu den Fragestellungen 1 und 2 .....                                | 135 |
| Tabelle 20: Alle ANCOVA-Kontraste im Überblick .....   | 136 |
| Tabelle 21: Varianzaufklärung zu den Fragestellungen 3 bis 5 (Nur Problemlöseziele)          | 146 |
| Tabelle 22: Varianzaufklärung zu Fragestellung 6 (Nur Lernziele).....                        | 148 |

## 9.2 Abbildungsverzeichnis

|  |     |
|--|-----|
| Abbildung 1: Drei-Komponenten-Modell des selbstregulierten Lernens in Anlehnung an Boekaerts (1999).....   | 42  |
| Abbildung 2: Das Lernziel als Produkt eines Lehrziels, angelehnt an Klauer (1987) .....  | 61  |
| Abbildung 3: Problemlöseziele und Lernziele nach Spezifitätsgrad variiert .....  | 63  |
| Abbildung 4: Das Modell des Arbeitsgedächtnisses, angelehnt an Baddeley (2002).....  | 67  |
| Abbildung 5: Beispiel für die verbleibende kognitive Kapazität für den <i>germane load</i> in Abhängigkeit vom Vorwissen (bei angenommener Konstanz des <i>extraneous load</i> ) ..... | 69  |
| Abbildung 6: Screenshot der Experimentierumgebung aus der korrelativen Studie.....   | 85  |
| Abbildung 7: Screenshot des Wissensanwendungstests aus der korrelativen Studie....   | 89  |
| Abbildung 8: Skizze für den Ablauf der Datenerhebung an den zwei Testtagen.....  | 91  |
| Abbildung 9a-d: Strukturgleichungsmodelle für die Vorhersage von Wissenszuwachs durch Strategienutzung .....   | 97  |
| Abbildung 10: Modelle unter Kontrolle der Intelligenz für hohes und geringes Vorwissen.....  | 99  |
| Abbildung 11: Modelle unter Kontrolle der Motivation für hohes und geringes Vorwissen.....   | 100 |
| Abbildung 12: Modelle unter Kontrolle des metakognitiven Strategiewissens für hohes und geringes Vorwissen .....   | 101 |
| Abbildung 13: Skizze für den Ablauf der Datenerhebung der experimentellen Studie .   | 116 |
| Abbildung 14: Screenshot der computerbasierten Experimentierumgebung (Explorationsphase mit Darbietung der Zielvorgaben) in der experimentellen Studie.....                            | 117 |
| Abbildung 15: Ladungen der Itemparcels auf die <i>Gesamtskala</i> für Lernzielorientierung.....  | 120 |
| Abbildung 16: Screenshot des optimierten Wissensanwendungstests der experimentellen Studie.....  | 126 |
| Abbildung 17: Strategienutzung und Lernzielorientierung als Prädiktoren für den Lernerfolg .....   | 129 |
| Abbildung 18: Einseitig signifikanter Interaktionseffekt von Zielqualität und Zielspezifität auf den Wissenszuwachs.....   | 132 |
| Abbildung 19: Nicht signifikanter Interaktionseffekt von Zielqualität und Zielspezifität auf den <i>cognitive load</i> .....   | 133 |
| Abbildung 20: Signifikanter disordinaler Interaktionseffekt von Zielqualität und Zielspezifität auf die Strategienutzung .....   | 134 |
| Abbildung 21: Mittelwerte aller abhängigen Variablen für alle vier Zielarten .....   | 142 |

## 10 Anhänge

*Anhang 1:* Der papier-bleistiftbasierte deklarativ-konzeptuelle Vorwissenstest (Prätest) aus der korrelativen Studie.

**Hallo liebe Schülerin, hallo lieber Schüler,**

im Folgenden findest du einige Aussagen zum Thema „*Auftrieb in Flüssigkeiten*“. Kreuze an, ob die Aussagen *stimmen* („*richtig*“), nicht *stimmen* („*falsch*“) oder ob du es nicht weißt („*weiß nicht*“).

Mache nur dann bei *jeder* Aussage ein Kreuz für „*richtig*“ oder „*falsch*“, wenn du dir sicher bist. Wenn du nicht sicher bist, kreuze „*weiß nicht*“ an! Es können auch mehrere Aussagen hintereinander falsch oder richtig sein.

Bei einigen Aussagen wirst du aufgefordert, *ganz kurz* eine Begründung für deine Entscheidung aufzuschreiben. Am Ende des Tests sollst du dies noch bei weiteren Aussagen aus diesem Test machen. Welche Aussagen das sind, erfährst du am Schluss des Tests. Alle deine Angaben werden anonym behandelt.

*Nun kann's auch schon losgehen. Viel Spaß!*

### **Aussagenblock 1: Kreuze an, welche Aussagen richtig oder falsch sind!**

*\* Kurze Information:*

*Wenn sich ein Körper im Wasser befindet, dann wirken zwei Kräfte auf ihn ein: Eine auf die obere Grundfläche des Körpers ( $F_O$ ), die andere auf die untere Grundfläche des Körpers ( $F_U$ ):*

weiß  
nicht      richtig      falsch

☐      ☐      ☐

1. Die Kraft auf die untere Grundfläche des Körpers (Kraft  $F_U$ ) ist immer größer als die Kraft auf die obere Grundfläche des Körpers (Kraft  $F_O$ ).

☐      ☐      ☐

2. Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers entspricht dem Unterschied zwischen der Kraft unterhalb des Körpers (Kraft  $F_U$ ) und der Kraft oberhalb des Körpers (Kraft  $F_O$ ).

☐      ☐      ☐

3. Ein massiver Bleikörper geht im Süß- und im Salzwasser unter.

☐      ☐      ☐

4. Kieselsteine gehen im Wasser nur deshalb unter, weil sie so klein sind.

☐      ☐      ☐

5. Ein Pflasterstein sinkt, aber ein Buchenholz-Brett schwimmt im Wasser.

- | weiß<br>nicht            | richtig                  | falsch                   |  |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 6. Die Masse ( $m$ ) eines Körpers ist das Gleiche wie seine Gewichtskraft ( $F_G$ ).  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 7. Auf einen Körper im Wasser wirken nur nach oben gerichtete Kräfte, aber keine nach unten gerichtete Kräfte.   |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 8. Der Begriff „Dichte“ ( $\rho_K$ ) eines Körpers bedeutet, dass die einzelnen Teilchen dieses Körpers in einem bestimmten Abstand zueinander angeordnet sind.                  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 9. Wenn die Gewichtskraft ( $F_G$ ) eines Körpers im Wasser kleiner als seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) ist, dann sinkt er.<br><i>Begründe hier ganz kurz deine Entscheidung:</i> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10. Die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) des Wassers beeinflusst die Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers in diesem Wasser.  |

**Aussagenblock 2: Kreuze an, welche Aussagen richtig oder falsch sind!**

- | weiß<br>nicht            | richtig                  | falsch                   |   |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 11. Die Gewichtskraft ( $F_G$ ) eines Körpers verstärkt die Auftriebskraft ( $F_A$ ) dieses Körpers im Wasser.  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 12. Das Volumen ( $V$ ) eines Körpers meint sein räumliches Ausmaß und kann zum Beispiel in „cm <sup>3</sup> “ ausgedrückt werden.  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 13. Ein Körper schwimmt im Salzwasser besser als im Süßwasser, weil die Gewichtskraft ( $F_G$ ) des Körpers im Salzwasser größer ist.<br><i>Begründe hier ganz kurz deine Entscheidung:</i> |

| weiß<br>nicht            | richtig                  | falsch                   |  |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 14. Ein Körper, dessen Dichte ( $\rho_K$ ) genauso hoch ist, wie die von Wasser ( $\rho_{FL}$ ), schwebt im Wasser.  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 15. Es hängt auch vom Unterschied zwischen der Dichte ( $\rho_K$ ) eines Körpers und der Dichte ( $\rho_{FL}$ ) des Wassers ab, ob er darin sinkt, schwebt oder steigt.  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 16. Je kleiner die Masse ( $m$ ) eines Körpers ist, desto größer ist seine Gewichtskraft ( $F_G$ ).  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 17. Der Unterschied zwischen der Gewichtskraft ( $F_G$ ) und der Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers im Wasser beeinflusst nicht, ob er sinkt oder steigt.  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 18. Von 2 Körpern mit dem gleichen Volumen ( $V$ ) sinkt der mit der größeren Dichte ( $\rho_K$ ) im Wasser schneller als der mit der kleineren Dichte ( $\rho_K$ ).<br><i>Begründe hier ganz kurz deine Entscheidung:</i> |

**Aussagenblock 3: Kreuze an, welche Aussagen richtig oder falsch sind!**

| weiß<br>nicht            | richtig                  | falsch                   |   |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 19. Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers im Wasser wirkt sich in Richtung Wasseroberfläche aus.   |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 20. Die Masse ( $m$ ) eines Körpers ist je nach Standort immer unterschiedlich.   |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 21. Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers im Wasser bleibt gleich groß, während er steigt oder sinkt. Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) ist aber im Salzwasser größer als im Süßwasser. |

weiß  
nicht      richtig      falsch  
☐      ☐      ☐

22. Das Volumen ( $V$ ) eines Körpers hat keinen Einfluss auf seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) im Wasser.

*Begründe hier ganz kurz deine Entscheidung:*

☐      ☐      ☐

23. Wenn die Gewichtskraft ( $F_G$ ) und die Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers im Wasser gleich groß sind, dann sind auch die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) des Wassers und die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers gleich groß.

☐      ☐      ☐

24. Die Gewichtskraft ( $F_G$ ) eines Körpers wirkt sich sowohl nach unten als auch nach oben aus.

☐      ☐      ☐

25. Wenn ein Körper im Wasser einer Dichte von  $\rho_{FL} = 1,2\text{g/cm}^3$  schwebt, dann muss er selbst auch eine Dichte von  $\rho = 1,2\text{g/cm}^3$  haben.

**Vielen Dank für deine Mitarbeit!**

**Anhang 2: Der papier-bleistiftbasierte deklarativ-konzeptuelle Wissenserwerbstest (Posttest) aus der korrelativen Studie**

**Hallo liebe Schülerin, hallo lieber Schüler,**

im Folgenden findest du einige Aussagen zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Kreuze an, ob die Aussagen *stimmen* („*richtig*“), nicht *stimmen* („*falsch*“) oder ob du es nicht weißt („*weiß nicht*“).

Mache nur dann bei *jeder* Aussage ein Kreuz für „*richtig*“ oder „*falsch*“, wenn du dir sicher bist. Wenn du nicht sicher bist, kreuze „*weiß nicht*“ an! Es können auch mehrere Aussagen hintereinander falsch oder richtig sein.

Bei einigen Aussagen wirst du aufgefordert, *ganz kurz* eine Begründung für deine Entscheidung aufzuschreiben. Am Ende des Tests sollst du dies noch bei weiteren Aussagen aus diesem Test machen. Welche Aussagen das sind, erfährst du am Schluss des Tests. Alle deine Angaben werden anonym behandelt.

Nun kann's auch schon losgehen. Viel Spaß!

**Aussagenblock 1: Kreuze an, welche Aussagen richtig oder falsch sind!**

*\* Kurze Information:*

*Wenn sich ein Körper im Wasser befindet, dann wirken zwei Kräfte auf ihn ein: Eine auf die obere Grundfläche des Körpers ( $F_o$ ) die andere auf die untere Grundfläche des Körpers ( $F_u$ ):*

| weiß<br>nicht            | richtig                  | falsch                   |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

1. Die Kraft auf die untere Grundfläche des Körpers (Kraft  $F_u$ ) ist immer größer als die Kraft auf die obere Grundfläche des Körpers (Kraft  $F_o$ ).

|                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

2. Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers entspricht dem Unterschied zwischen der Kraft unterhalb des Körpers (Kraft  $F_u$ ) und der Kraft oberhalb des Körpers (Kraft  $F_o$ ).

|                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

3. Das Volumen ( $V$ ) eines Körpers hat keinen Einfluss auf seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) im Wasser.

*Begründe hier ganz kurz deine Entscheidung:*

|                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

4. Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers im Wasser wirkt sich in Richtung Wasseroberfläche aus.



- | weiß<br>nicht            | richtig                  | falsch                   |   |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 5. Der Begriff „Dichte“ ( $\rho_K$ ) eines Körpers bedeutet, dass die einzelnen Teilchen dieses Körpers in einem bestimmten Abstand zueinander angeordnet sind. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 6. Die Masse ( $m$ ) eines Körpers ist das Gleiche wie seine Gewichtskraft ( $F_G$ ).   |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 7. Die Masse ( $m$ ) eines Körpers ist je nach Standort immer unterschiedlich.  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 8. Wenn ein Würfel ein Volumen von $V = 1200\text{cm}^3$ und eine Masse von $m = 1000\text{g}$ hat, dann geht er im Süßwasser unter.                            |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 9. Die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) des Wassers beeinflusst die Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers in diesem Wasser.  |

**Aussagenblock 2: Kreuze an, welche Aussagen richtig oder falsch sind!**

- | weiß<br>nicht            | richtig                  | falsch                   |   |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10. Der Unterschied zwischen der Gewichtskraft ( $F_G$ ) und der Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers im Wasser beeinflusst nicht, ob er sinkt oder steigt.                               |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 11. Ein Körper schwimmt im Salzwasser besser als im Süßwasser, weil die Gewichtskraft ( $F_G$ ) des Körpers im Salzwasser größer ist.<br><i>Begründe hier ganz kurz deine Entscheidung:</i> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 12. Ein Körper mit einer Dichte von $\rho_K = 0,9\text{g/cm}^3$ schwebt im Salzwasser einer Dichte von $\rho_{FL} = 1,25\text{g/cm}^3$ .  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 13. Ein Körper, dessen Dichte ( $\rho_K$ ) genauso hoch ist, wie die von Wasser ( $\rho_{FL}$ ), schwebt im Wasser.   |

- | weiß<br>nicht            | richtig                  | falsch                   |   |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 14. Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers im Wasser bleibt gleich groß, während er steigt oder sinkt. Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) ist aber im Salzwasser größer als im Süßwasser. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 15. Von 2 Körpern mit gleichem Volumen ( $V$ ) weist der Körper mit der größeren Dichte ( $\rho_K$ ) auch die größere Masse ( $m$ ) auf.  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 16. Wenn die Gewichtskraft ( $F_G$ ) eines Körpers im Wasser kleiner als seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) ist, dann sinkt er.<br><i>Begründe hier ganz kurz deine Entscheidung:</i>       |

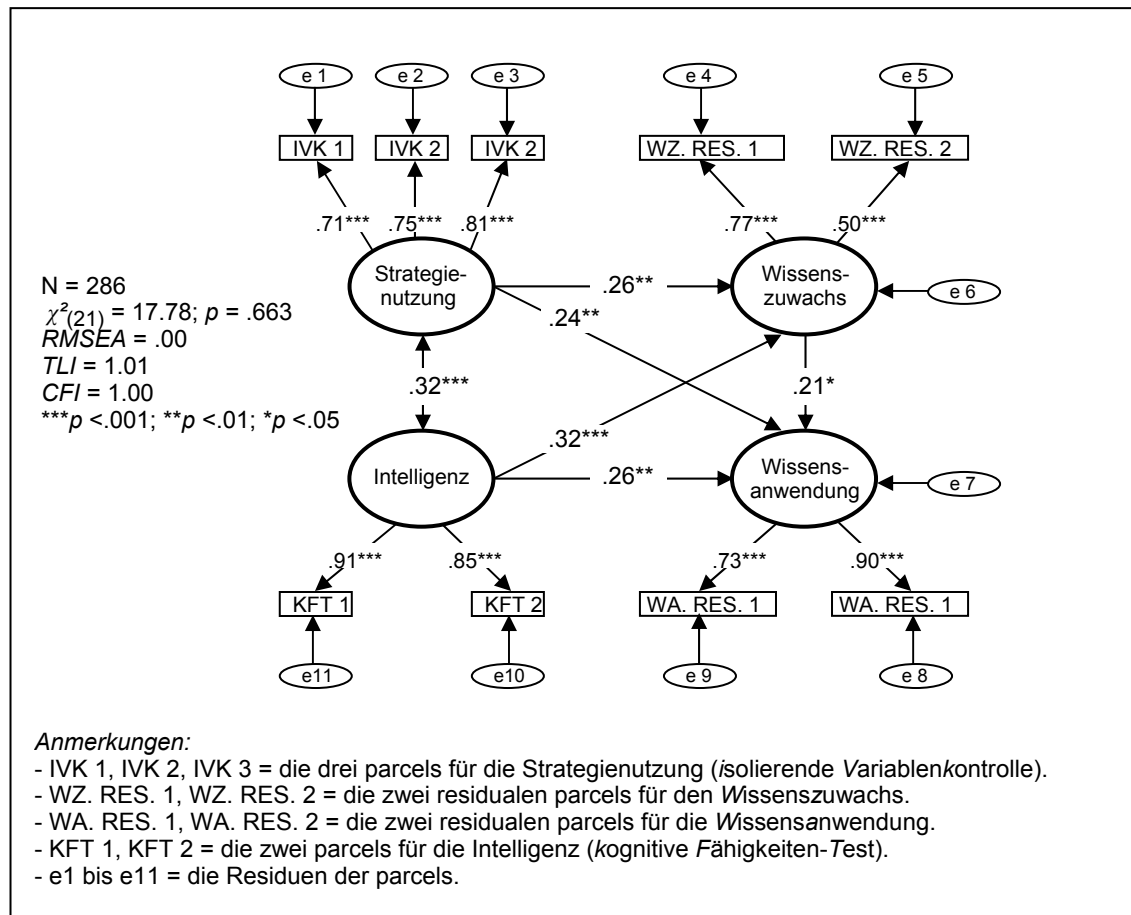
**Aussagenblock 3: Kreuze an, welche Aussagen richtig oder falsch sind!**

- | weiß<br>nicht            | richtig                  | falsch                   |  |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 17. Es hängt auch vom Unterschied zwischen der Dichte ( $\rho_K$ ) eines Körpers und der Dichte ( $\rho_{FL}$ ) des Wassers ab, ob er darin sinkt, schwebt oder steigt.  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 18. Ein Körper mit einer Gewichtskraft ( $F_G$ ) von 10N hat ein Volumen ( $V$ ) von 500cm <sup>3</sup> , eine Masse ( $m$ ) von 1000g und eine Auftriebskraft ( $F_A$ ) von 10N, wenn er im Wasser einer Dichte von $\rho_{FL} = 2\text{g/cm}^3$ schwebt. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 19. Wenn ein Körper im Salzwasser einer Dichte von $\rho_{FL} = 1,3\text{g/cm}^3$ schwebt, dann hat er eine Masse von $m = 500\text{g}$ und ein Volumen von $V = 500\text{cm}^3$ .<br><i>Begründe hier ganz kurz deine Entscheidung:</i>                   |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 20. Während ein Körper im Wasser sinkt, ändern sich die Kräfte $F_u$ und $F_o$ . Der Unterschied zwischen diesen Kräften bleibt aber immer gleich.   |

- | weiß<br>nicht            | richtig                  | falsch                   |  |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 21. Je kleiner die Masse ( $m$ ) eines Körpers ist, desto größer ist seine Gewichtskraft ( $F_G$ ).  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 22. Die Gewichtskraft ( $F_G$ ) eines Körpers verstärkt die Auftriebskraft ( $F_A$ ) dieses Körpers im Wasser.   |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 23. Ein Körper mit einer Dichte von $\rho_K = 1,3\text{g/cm}^3$ sinkt im Salzwasser einer Dichte von $\rho_{FL} = 1,025\text{g/cm}^3$ , weil die Dichte des Körpers größer als die des Wassers ist.                        |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 24. Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers im Wasser ist das Gleiche wie die Kraft ( $F_u$ ), welche auf die untere Grundfläche des Körpers wirkt.<br><i>Begründe hier ganz kurz deine Entscheidung:</i>               |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 25. Wenn die Gewichtskraft ( $F_G$ ) und die Auftriebskraft ( $F_A$ ) eines Körpers im Wasser gleich groß sind, dann sind auch die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) des Wassers und die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers gleich groß. |

**Vielen Dank für deine Mitarbeit!**

**Anhang 3:** Mess- und Strukturmodell aus der korrelativen Studie für die Vorhersage von Wissenszuwachs und Wissensanwendung an dem Beispiel des Modells mit Einbezug der Intelligenz als Kontrollvariable (siehe Kapitel 5.3.2).



*Anhang 4 a-d: Auflistung der vier Arten externaler Zielvorgaben in der Darbietungsreihenfolge der Untersuchung (experimentelle Studie)*

**a.) Spezifische Problemlöseziele**

1. Wirf in ein Gefäß: Einen der drei größten Körper mit *der Masse ( $m$ )*, bei der *die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers* am größten ist! (80 Sek.)
2. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit *der Masse ( $m$ )*, bei der *die Gewichtskraft ( $F_G$ ) des Körpers* am größten ist! (80 Sek.)
3. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit *dem Volumen ( $V$ )*, bei dem *die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers* am größten ist! (80 Sek.)
4. Wirf in ein Gefäß: Den der vier leichtesten Körpern mit *dem Volumen ( $V$ )*, bei dem *die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers* am kleinsten ist! (80 Sek.)
5. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper in die *Flüssigkeit mit der Dichte ( $\rho_{FL}$ )*, bei der *die Kräfte  $F_o$  und  $F_u$  des Körpers* am größten sind! (85 Sek.)
6. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper in die *Flüssigkeit mit der Dichte ( $\rho_{FL}$ )*, bei der *die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers* am größten ist! (85 Sek.)
7. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit der *Auftriebskraft ( $F_A$ )*, bei der *der Unterschied zwischen den Kräften  $F_o$  und  $F_u$  des Körpers* am kleinsten ist! (85 Sek.)
8. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit dem Verhältnis zwischen *Masse ( $m$ ) und Volumen ( $V$ )*, bei dem *die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers* am größten ist! (90 Sek.)
9. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit dem Verhältnis zwischen *Auftriebskraft ( $F_A$ ) und Gewichtskraft ( $F_G$ )*, bei dem er *sinkt!* (89 Sek.)
10. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit dem Verhältnis zwischen *Auftriebskraft ( $F_A$ ) und Gewichtskraft ( $F_G$ )*, bei dem er *steigt!* (89 Sek.)
11. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit dem Verhältnis zwischen *Auftriebskraft ( $F_A$ ) und Gewichtskraft ( $F_G$ )*, bei dem er *schwebt!* (90 Sek.)
12. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit dem Verhältnis zwischen *seiner Dichte ( $\rho_K$ ) und Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ )*, bei dem er *sinkt!* (89 Sek.)
13. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit dem Verhältnis zwischen *seiner Dichte ( $\rho_K$ ) und Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ )*, bei dem er *steigt!* (89 Sek.)
14. Wirf in ein Gefäß: Einen Körper mit *dem Verhältnis zwischen seiner Dichte ( $\rho_K$ ) und Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ )*, bei dem er *schwebt!* (89 Sek.)

### **b.) Unspezifische Problemlöseziele**

1. Lasse drei Körper *DIREKT NACHEINANDER* in nur einem der zwei Gefäße *schweben!* (373 Sek.)
2. Lasse fünf Körper *DIREKT NACHEINANDER* in nur einem der zwei Gefäße *sinken!* (376 Sek.)
3. Lasse neun Körper *DIREKT NACHEINANDER* in nur einen der zwei Gefäße *steigen!* (451 Sek.)

### **c.) Spezifische Lernziele**

1. Finde für die drei größten Körper heraus, wie ihre *Masse ( $m$ )* mit ihrer *Dichte ( $\rho_K$ )* zusammenhängt und merke es dir! (80 Sek.)
2. Finde heraus, wie die *Masse ( $m$ )* eines Körpers mit seiner *Gewichtskraft ( $F_G$ )* zusammenhängt und merke es dir! (80 Sek.)
3. Finde heraus, wie das *Volumen ( $V$ )* eines Körpers mit seiner *Auftriebskraft ( $F_A$ )* zusammenhängt und merke es dir! (80 Sek.)
4. Finde für die drei leichtesten Körper heraus, wie ihr *Volumen ( $V$ )* mit ihrer *Dichte ( $\rho_K$ )* zusammenhängt und merke es dir! (80 Sek.)
5. Finde heraus, wie die *Kräfte  $F_O$  und  $F_U$*  eines Körpers mit der *Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ )* zusammenhängen und merke es dir! (85 Sek.)
6. Finde heraus, wie die *Auftriebskraft ( $F_A$ )* eines Körpers mit der *Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ )* zusammenhängt und merke es dir! (85 Sek.)
7. Finde heraus, wie die *Auftriebskraft ( $F_A$ )* eines Körpers mit dem *Unterschied zwischen seinen Kräften  $F_O$  und  $F_U$*  zusammenhängt und merke es dir! (85 Sek.)
8. Finde heraus, wie die *Dichte ( $\rho_K$ )* eines Körpers mit seiner *Masse ( $m$ )* und seinem *Volumen ( $V$ )* zusammenhängt und merke es dir! (90 Sek.)
9. Finde heraus, wie das *Sinken* eines Körpers mit dem Verhältnis zwischen *seiner Auftriebskraft ( $F_A$ )* und seiner *Gewichtskraft ( $F_G$ )* zusammenhängt und merke es dir! (89 Sek.)
10. Finde heraus, wie das *Steigen* eines Körpers mit dem Verhältnis zwischen *seiner Auftriebskraft ( $F_A$ )* und seiner *Gewichtskraft ( $F_G$ )* zusammenhängt und merke es dir! (89 Sek.)
11. Finde heraus, wie das *Schweben* eines Körpers mit dem Verhältnis zwischen *seiner Auftriebskraft ( $F_A$ )* und *seiner Gewichtskraft ( $F_G$ )* zusammenhängt und merke es dir! (90 Sek.)

12. Finde heraus, wie das *Sinken* eines Körpers mit dem Verhältnis zwischen *seiner Dichte* ( $\rho_K$ ) und der *Dichte der Flüssigkeit* ( $\rho_{FL}$ ) zusammenhängt und merke es dir! (89 Sek.)
13. Finde heraus, wie das *Steigen* eines Körpers mit dem Verhältnis zwischen *seiner Dichte* ( $\rho_K$ ) und der *Dichte der Flüssigkeit* ( $\rho_{FL}$ ) zusammenhängt und merke es dir! (89 Sek.)
14. Finde heraus, wie das *Schweben* eines Körpers mit dem Verhältnis zwischen *seiner Dichte* ( $\rho_K$ ) und der *Flüssigkeitsdichte* ( $\rho_{FL}$ ) zusammenhängt und merke es dir! (89 Sek.)

#### **d.) Unspezifische Lernziele**

1. Finde so viel wie möglich darüber heraus, womit es zusammenhängt, dass manche Körper im Wasser *sinken* und merke es dir! (373 Sek.)
2. Finde so viel wie möglich darüber heraus, womit es zusammenhängt, dass manche Körper im Wasser *schweben* und merke es dir! (373 Sek.)
3. Finde so viel wie möglich darüber heraus, womit es zusammenhängt, dass manche Körper im Wasser *steigen* und merke es dir! (451 Sek.)

*Anhang 5:* Auflistung der in der experimentellen Studie fokussierten Relationen zwischen den Variablen in der Lernumgebung. Es wurden nur Relationen fokussiert, die sich prinzipiell durch alle vier Arten von externalen Zielvorgaben sinnvoll formulieren ließen. Spezifische Problemlöseziele und Lernziele (Anhang 4a und 4c) sprechen immer eine der 14 Relationen an. Unspezifische Problemlöseziele und Lernziele (Anhang 4b und 4d) erfordern dagegen – für ihre Erreichung – die Exploration der 14 Relationen.

1.



2.



3.



4.



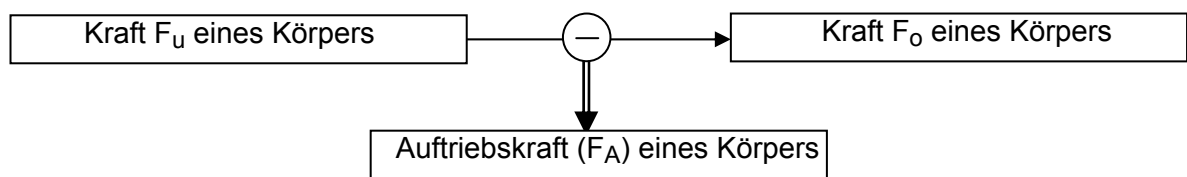
5.



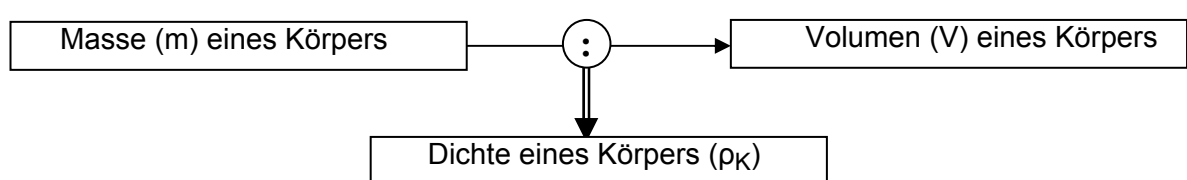
6.



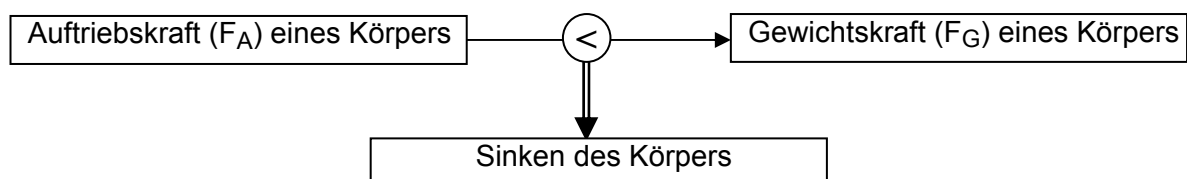
7.



8.

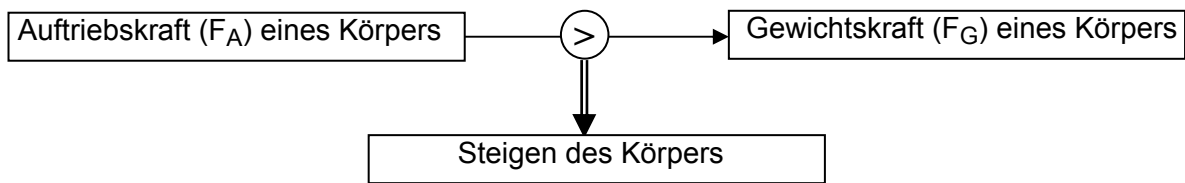


9.

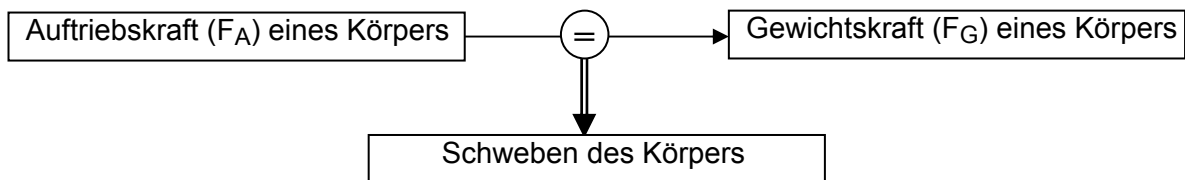




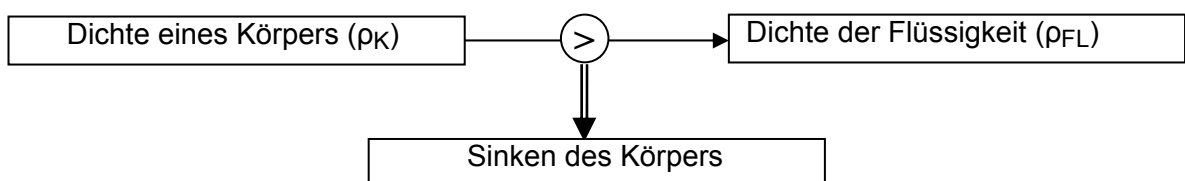
10.



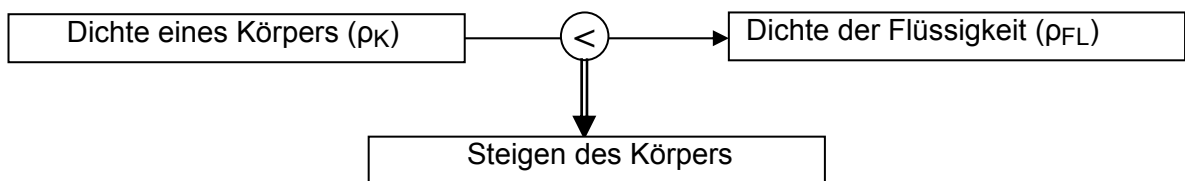
11.



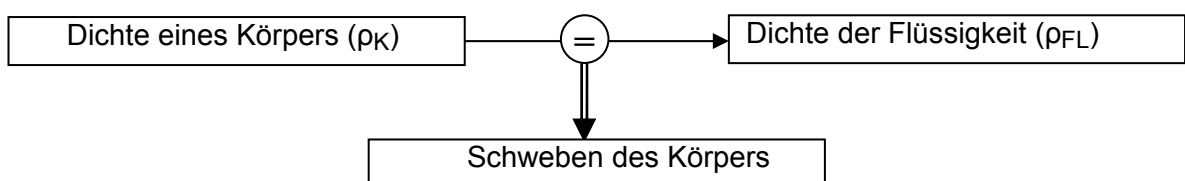
12.



13.



14.



*Anmerkungen:* Bedeutungen der relationalen Symbole



Gleichgerichtete Beziehung (z.B. Wenn das Volumen ( $V$ ) eines Körpers größer wird, dann wird auch seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) größer).



Entgegengesetzte Beziehung (z.B. Wenn das Volumen ( $V$ ) eines Körpers größer wird, dann wird seine Dichte ( $\rho_K$ ) kleiner).



„Genauso groß wie“



„Größer als“



„Kleiner als“

*Anhang 6: Der Fragebogen zur Erfassung der internalen Zielorientierungen (experimentelle Studie)*

**Hallo liebe Schülerin, hallo lieber Schüler,**

auf Seite 1 und 2 findest du Aussagen dazu, welche Ziele man bei der Bearbeitung oder Auswahl von Aufgaben haben kann – Dazu zwei gleichwertige Beispiele:

1. Einerseits kann man das Ziel haben, die Lösung von Aufgaben herbeizuführen. Dann will man das gewünschte Ergebnis von Aufgaben erreichen.
2. Andererseits kann man das Ziel haben, etwas über Aufgaben zu lernen. Dann will man neues Wissen über Aufgaben und den Lösungsweg erwerben.

Welche Ziele hast du, wenn du Aufgaben bearbeitest oder auswählst?

Mache dazu *bei jeder Aussage immer nur ein Kreuz* für das, was am ehesten auf dich zutrifft. *Alle folgenden Aussagen sind gleichwertig* und deine Daten bleiben anonym.

Viel Spaß! ☺

|   | Trifft<br>völlig zu      | Trifft<br>eher zu        | Trifft eher<br>nicht zu  | Trifft gar<br>nicht zu   |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Ich suche oft nach Gelegenheiten, um mein Wissen und meine Fertigkeiten zu erweitern.                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Meine Fertigkeiten und mein Wissen bei Aufgaben zu erweitern zählt für mich mehr als die eigentliche Lösung. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Das zügige Lösen von Aufgaben ist mir wichtiger als alles zu verstehen und mir zu merken.                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Bei Aufgaben beachte ich nur Informationen, von denen ich annehme, dass sie zur Lösung führen. <sup>21</sup> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Etwas über den Lösungsweg von Aufgaben zu lernen ist mir wichtiger als die Lösung zügig herbeizuführen.      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Aufgaben gehe ich an, um sie zu lösen und nicht, um neue Kenntnisse zu gewinnen.                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

---

<sup>21</sup> Dieses Item wurde als einziges ausgeschlossen.

|   | Trifft<br>völlig zu      | Trifft<br>eher zu        | Trifft eher<br>nicht zu  | Trifft gar<br>nicht zu   |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 7. Ich bevorzuge Aufgaben, bei denen ich anderen meine Fähigkeiten zeigen kann.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Aufgaben gehe ich mit dem Ziel an, sie möglichst direkt und schnell zu lösen.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Alles zu verstehen und zu behalten ist mir bei Aufgaben wichtiger als sie zügig zu lösen.                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Bei einer Aufgabe konzentriere ich mich auf das gewünschte Ergebnis und nicht auf den Lösungsweg.                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11. Bei Aufgaben konzentriere ich mich darauf, etwas über den Lösungsweg zu lernen und nicht auf das gewünschte Ergebnis. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12. Ich suche mir stets herausfordernde Aufgaben, bei denen ich viel lernen kann.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13. Mir ist es wichtiger zu vermeiden dumm da zustehen als etwas Neues zu lernen.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14. Mir machen herausfordernde und schwierige Aufgaben Spaß, bei denen ich etwas Neues lernen kann.                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15. Mir machen Aufgaben Spaß, bei denen es in erster Linie darauf ankommt, das Ergebnis zu erreichen.                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 16. Aufgaben bearbeite ich, um sie zu lösen und nicht, um mein Wissen zu erweitern.                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17. Ich versuche herauszufinden, was ich tun muss, um anderen meine Fähigkeiten zu zeigen.                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18. Etwas über Aufgaben zu lernen ist mir wichtiger als der Nutzen durch ihre Lösung.                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19. Ich gehe eine neue Aufgabe nicht an, wenn ich dabei inkompetent wirken könnte.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20. Für mich ist es wichtig, dass ich eine bessere Leistung zeige als andere.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

|   | Trifft<br>völlig zu      | Trifft<br>eher zu        | Trifft eher<br>nicht zu  | Trifft gar<br>nicht zu   |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 21. Bei Aufgaben reizt es mich mehr etwas zu lernen als die Lösung herbeizuführen.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 22. Bei neuen Aufgaben verfolge ich in erster Linie das Ziel, den Ergebniszustand herbeizuführen anstatt etwas hinzuzulernen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 23. Ich bin beunruhigt, wenn sich bei einer Aufgabe zeigen könnte, dass meine Fähigkeiten nicht ausreichen.                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 24. Bei neuen Aufgaben zählt für mich die erfolgreiche Lösung mehr als etwas Neues zu erfahren.                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 25. Ich vermeide Aufgaben, bei denen ich schlecht abschneiden könnte.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 26. Ich mag es, wenn andere merken, wie gut ich bin.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Zuordnung der Items zu den vier Skalen:

1. Lernzielorientierung: Items 1, 2, 5, 9, 11, 12, 14, 18, 21
2. Problemlösezielorientierung: Items 3, 4, 6, 8, 10, 15, 16, 22, 24
3. Annäherungs-Leistungszielorientierung: Items 7, 17, 20, 26
4. Vermeidungs-Leistungszielorientierung: Items 13, 19, 23, 25

**Anhang 7: Der Fragebogen zur Erfassung des *cognitive load* (experimentelle Studie)**

**Liebe Schülerin, lieber Schüler,**

vielen Dank, dass du in den letzten 20 Minuten die Aufträge von Dr. Senkwüfel ausgeführt hast!

Bei den folgenden Fragen sollst du einschätzen, wie beanspruchend oder anstrengend die Aufträge waren, die für dich eingeblendet wurden. Mache pro Frage immer nur ein Kreuz für das, was am ehesten auf dich zutrifft.

**1. In die Lösung oder Bearbeitung der vorangegangenen Aufträge investierte ich:**

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| geringe               |                       |                       |                       |                       |                       | hohe                  |
| Anstrengung           |                       |                       |                       |                       |                       | Anstrengung           |

**2. Die vorangegangenen Aufträge fand ich:**

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| einfach               |                       |                       |                       |                       |                       | schwer                |

**3. Wie einfach oder schwer waren die vorangegangenen Aufträge zu verstehen?**

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| einfach               |                       |                       |                       |                       |                       | schwer                |

**4. Wie stark haben die Aufträge deine unmittelbar-gründliche Aufmerksamkeit erfordert?**

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| kaum                  |                       |                       |                       |                       |                       | sehr stark            |

**5. Wie stark haben die Aufträge bei dir *Zeitdruck* verursacht?**

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| kaum                  |                       |                       |                       |                       |                       | sehr stark            |

**6. Wie stark haben die Aufträge bei dir *gleichzeitige Anforderungen* verursacht?**

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| kaum                  |                       |                       |                       |                       |                       | sehr stark            |

**7. Wie stark musstest du dich auf die Aufträge *konzentrieren*?**

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| kaum                  |                       |                       |                       |                       |                       | sehr stark            |

8. Wie stark musstest du dich anstrengen, um die *Texte* der Aufträge zu verstehen?

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| kaum                  |                       |                       |                       |                       |                       | sehr stark            |

9. In welchem Ausmaß musstest du rechnen, um die Aufträge zu erfüllen?

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| kaum                  |                       |                       |                       |                       |                       | sehr stark            |

10. In welchem Ausmaß musstest du einzelne Schritte erinnern, um die Aufträge zu erfüllen?

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| kaum                  |                       |                       |                       |                       |                       | sehr stark            |

11. Wie stark musstest du dich anstrengen, um die *Bilder* im Labor zu verstehen?

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| kaum                  |                       |                       |                       |                       |                       | sehr stark            |

😊 Vielen Dank bis hierhin 😊

Anhang 8a: Schülerinstruktion und Itemauflistung des deklarativ-konzeptuellen Wissenstest (Prä- und Post, experimentelle Studie) in Darbietungsreihenfolge. Für jedes Item gab es drei Antwortalternativen, zum Beispiel für Item 1:

Die Dichte ( $\rho_K$ ) wird ☐ größer ☐ kleiner ☐ gleich bleiben.

Hallo liebe Schülerin, hallo lieber Schüler,

im Folgenden geht es um das Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Dieses Thema handelt von den Eigenschaften eines Körpers (z.B. eines Würfels), der sich in einer Flüssigkeit befindet.

- Wenn sich ein Körper in einer Flüssigkeit befindet, dann wirken vier Kräfte auf ihn:

1. Die Kraft  $F_A$ : Sie heißt Auftriebskraft und drückt den Körper nach oben.
2. Die Kraft  $F_G$ : Sie heißt Gewichtskraft und drückt den Körper nach unten.
3. Die Kraft  $F_D$ : Sie drückt von oben auf die obere Grundfläche des Körpers.
4. Die Kraft  $F_U$ : Sie drückt von unten auf die untere Grundfläche des Körpers.

Im Folgenden findest du einige Fragen zu einem Körper, der sich in einer Flüssigkeit befindet. Für jede Frage gibt es immer genau *eine* richtige Antwort. Kreuze für jede Frage immer nur *eine* Antwort an.



1. Wie verändert sich die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers, wenn man nur seine Masse ( $m$ ) vergrößert?
2. Wie verändert sich die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers, wenn man nur sein Volumen ( $V$ ) vergrößert?
3. Wie verändert sich die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers, wenn man seine Masse ( $m$ ) verkleinert und sein Volumen ( $V$ ) vergrößert?
4. Wie verändert sich die Gewichtskraft ( $F_G$ ) des Körpers, wenn man nur seine Masse ( $m$ ) vergrößert?
5. Wie verändert sich die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers, wenn man nur die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) der Flüssigkeit vergrößert?

6. Wie verändert sich die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers, während er sinkt?
7. Wie verändert sich die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers, wenn man nur den Unterschied zwischen seinen Kräften  $F_U$  und  $F_O$  vergrößert?
8. Wie verändern sich die Kräfte  $F_O$  und  $F_U$  des Körpers, wenn man nur sein Volumen ( $V$ ) verkleinert?
9. Wie verändern sich die Kräfte  $F_O$  und  $F_U$  des Körpers, wenn man nur die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) der Flüssigkeit vergrößert?
10. Wie groß ist die Kraft  $F_U$  des Körpers im Vergleich zu seiner Kraft  $F_O$ ?
11. Wie groß ist die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers im Vergleich zum Unterschied zwischen seinen Kräften  $F_O$  und  $F_U$ ?
12. Wie groß ist die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers im Vergleich zu seiner Gewichtskraft ( $F_G$ ), wenn seine Dichte ( $\rho_K$ ) und die Dichte der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ) gleich groß sind?
13. Wie verhält sich der Körper, wenn seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) größer ist als seine Gewichtskraft ( $F_G$ )?
14. Wie verhält sich der Körper, wenn seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) gleich groß ist wie seine Gewichtskraft ( $F_G$ )?
15. Wie verhält sich der Körper, wenn die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers kleiner ist als die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) der Flüssigkeit?
16. Wie verhält sich ein Körper mit der Dichte ( $\rho_K$ ) = 1 g/cm<sup>3</sup> in einer Flüssigkeit mit der Dichte ( $\rho_{FL}$ ) = 3 g/cm<sup>3</sup>?
17. Wie verhält sich der Körper, wenn die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers gleich groß ist wie die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) der Flüssigkeit?



**Anhang 8b:** Screenshots der Seiten 1 und 2 des computerimplementierten deklarativ-konzeptuellen Wissenstests (experimentelle Studie, Prä- und Postversion identisch)

| Auftriebsversuch  |   |
|---|---|
| Wie verändert sich die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers, wenn man nur seine Masse ( $m$ ) vergrößert? Die Dichte ( $\rho_K$ ) wird...  | <input checked="" type="radio"/> größer <input type="radio"/> kleiner <input type="radio"/> gleich bleiben. |
| Wie verändert sich die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers, wenn man nur sein Volumen ( $V$ ) vergrößert? Die Dichte ( $\rho_K$ ) wird...   | <input type="radio"/> größer <input checked="" type="radio"/> kleiner <input type="radio"/> gleich bleiben. |
| Wie verändert sich die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers, wenn man seine Masse ( $m$ ) verkleinert und sein Volumen ( $V$ ) vergrößert? Die Dichte ( $\rho_K$ ) wird...   | <input type="radio"/> größer <input checked="" type="radio"/> kleiner <input type="radio"/> gleich bleiben. |
| Wie verändert sich die Gewichtskraft ( $F_G$ ) des Körpers, wenn man nur seine Masse ( $m$ ) vergrößert? Die Gewichtskraft ( $F_G$ ) wird...  | <input checked="" type="radio"/> größer <input type="radio"/> kleiner <input type="radio"/> gleich bleiben. |
| Wie verändert sich die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers, wenn man nur die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) der Flüssigkeit vergrößert? Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) wird...   | <input checked="" type="radio"/> größer <input type="radio"/> kleiner <input type="radio"/> gleich bleiben. |
| Wie verändert sich die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers, während er sinkt? Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) wird...   | <input type="radio"/> größer <input type="radio"/> kleiner <input checked="" type="radio"/> gleich bleiben. |
| Wie verändert sich die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers, wenn man nur den Unterschied zwischen seinen Kräften $F_u$ und $F_o$ vergrößert? Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) wird...  | <input checked="" type="radio"/> größer <input type="radio"/> kleiner <input type="radio"/> gleich bleiben. |
| Wie verändern sich die Kräfte $F_o$ und $F_u$ des Körpers, wenn man nur sein Volumen ( $V$ ) verkleinert? Die Kräfte $F_o$ und $F_u$ werden...  | <input type="radio"/> größer <input checked="" type="radio"/> kleiner <input type="radio"/> gleich bleiben. |
| Wie verändern sich die Kräfte $F_o$ und $F_u$ des Körpers, wenn man nur die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) der Flüssigkeit vergrößert? Die Kräfte $F_o$ und $F_u$ werden...   | <input checked="" type="radio"/> größer <input type="radio"/> kleiner <input type="radio"/> gleich bleiben. |
| Wie groß ist die Kraft $F_u$ des Körpers im Vergleich zu seiner Kraft $F_o$ ? Die Kraft $F_u$ ist...  | <input checked="" type="radio"/> größer <input type="radio"/> kleiner <input type="radio"/> gleich groß.    |
|   |   |
| Auftriebsversuch  |   |
| Wie groß ist die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers im Vergleich zum Unterschied zwischen seinen Kräften $F_o$ und $F_u$ ? Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) ist...  | <input type="radio"/> größer <input type="radio"/> kleiner <input checked="" type="radio"/> gleich groß.    |
| Wie groß ist die Auftriebskraft ( $F_A$ ) des Körpers im Vergleich zu seiner Gewichtskraft ( $F_G$ ), wenn seine Dichte ( $\rho_K$ ) und die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) der Flüssigkeit ( $\rho_{FL}$ ) gleich groß sind? Die Auftriebskraft ( $F_A$ ) ist... | <input type="radio"/> größer <input type="radio"/> kleiner <input checked="" type="radio"/> gleich groß.    |
| Wie verhält sich der Körper, wenn seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) größer ist als seine Gewichtskraft ( $F_G$ )? Der Körper wird...   | <input type="radio"/> sinken <input type="radio"/> schweben <input checked="" type="radio"/> steigen.       |
| Wie verhält sich der Körper, wenn seine Auftriebskraft ( $F_A$ ) gleich groß ist wie seine Gewichtskraft ( $F_G$ )? Der Körper wird...  | <input type="radio"/> sinken <input checked="" type="radio"/> schweben <input type="radio"/> steigen.       |
| Wie verhält sich der Körper, wenn die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers kleiner ist als die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) der Flüssigkeit? Der Körper wird...  | <input type="radio"/> sinken <input type="radio"/> schweben <input checked="" type="radio"/> steigen.       |
| Wie verhält sich ein Körper mit der Dichte ( $\rho_K$ ) = 1 g/cm <sup>3</sup> in einer Flüssigkeit mit der Dichte ( $\rho_{FL}$ ) = 3 g/cm <sup>3</sup> ? Der Körper wird...  | <input type="radio"/> sinken <input type="radio"/> schweben <input checked="" type="radio"/> steigen.       |
| Wie verhält sich der Körper, wenn die Dichte ( $\rho_K$ ) des Körpers gleich groß ist wie die Dichte ( $\rho_{FL}$ ) der Flüssigkeit? Der Körper wird...  | <input type="radio"/> sinken <input checked="" type="radio"/> schweben <input type="radio"/> steigen.       |
|   |   |
| Zurück  | Vorwärts  |
| Fertig  |   |

Anhang 9: Die FAM-Skala (Rheinberg et al., 2001; in beiden vorliegenden Studien verwendet, hier als computerimplementierte Seite der experimentellen Studie).

| Auftriebsversuch  |           |                                    |                                    |                                    |                                    |                         |                         |                                    |                 |  |  |
|---|-----------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|-----------------|--|--|
| Nach dem Lesen der Instruktion erscheint mir die Aufgabe sehr interessant.                  | trifft zu | <input checked="" type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2            | <input type="radio"/> 3            | <input type="radio"/> 4            | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7            | trifft nicht zu |  |  |
| Ich mag solche Rätsel und Knobelreien.  | trifft zu | <input type="radio"/> 1            | <input type="radio"/> 2            | <input checked="" type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4            | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7            | trifft nicht zu |  |  |
| Bei der Aufgabe mag ich es, vorzugehen wie ein Wissenschaftler, der Zusammenhänge entdeckt. | trifft zu | <input type="radio"/> 1            | <input checked="" type="radio"/> 2 | <input type="radio"/> 3            | <input type="radio"/> 4            | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7            | trifft nicht zu |  |  |
| Die Aufgabe ist eine richtige Herausforderung für mich.                                     | trifft zu | <input type="radio"/> 1            | <input type="radio"/> 2            | <input type="radio"/> 3            | <input checked="" type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7            | trifft nicht zu |  |  |
| Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.                           | trifft zu | <input type="radio"/> 1            | <input type="radio"/> 2            | <input type="radio"/> 3            | <input checked="" type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7            | trifft nicht zu |  |  |
| Ich bin fest entschlossen, mich bei dieser Aufgabe voll anzustrengen.                       | trifft zu | <input type="radio"/> 1            | <input type="radio"/> 2            | <input type="radio"/> 3            | <input checked="" type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7            | trifft nicht zu |  |  |
| Bei Aufgaben wie dieser brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.      | trifft zu | <input type="radio"/> 1            | <input type="radio"/> 2            | <input type="radio"/> 3            | <input checked="" type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7            | trifft nicht zu |  |  |
| Wenn ich die Aufgabe schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.   | trifft zu | <input type="radio"/> 1            | <input type="radio"/> 2            | <input type="radio"/> 3            | <input type="radio"/> 4            | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input checked="" type="radio"/> 7 | trifft nicht zu |  |  |
| Eine solche Aufgabe würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.                           | trifft zu | <input type="radio"/> 1            | <input type="radio"/> 2            | <input type="radio"/> 3            | <input checked="" type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7            | trifft nicht zu |  |  |

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

- N Die Klasse hat aus einer Reihe von Experimenten eine Regel abgeleitet, wie der Durchmesser eines Drahtes mit der Stromstärke zusammenhängt. Was kannst du tun, um dir die Formel möglichst gut zu merken?

*Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein. Bewerte die Vorgehensweisen mit Noten von 1 bis 6:*

1 2 3 4 5 6

a) Ich schreibe auf, was in den einzelnen Experimenten herauskam.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

b) Ich sage mir möglichst oft die Regel auf, bis ich sie auswendig weiß.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

c) Ich mache eine Zeichnung, um mir den Zusammenhang zu verdeutlichen.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

d) Ich versuche, eine Erklärung für diesen Zusammenhang zu finden.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

- A Du möchtest herausfinden, von welchen Faktoren es abhängt, ob ein Körper im Wasser sinkt, schwebt oder schwimmt.

*Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein, um die Frage zu beantworten. Bewerte die Vorgehensweisen mit Noten von 1 bis 6:*

1 2 3 4 5 6

a) Ich mache eine Zeichnung mit allen möglichen Einflussfaktoren.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

b) Ich überprüfe die einzelnen Faktoren Schritt für Schritt.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

c) Ich versuche, mir die Wirkung der Einflussfaktoren zu erklären.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

d) Ich halte die Ergebnisse meiner Experimente in einer Tabelle fest.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

e) Ich schreibe einen Merksatz auf, in dem alle Einflussfaktoren enthalten sind.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

f) Ich stelle zuerst einige Vermutungen auf, die ich dann nacheinander überprüfe.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

- H Aus einer Reihe von Experimenten wurde eine Formel abgeleitet, wie die Stromstärke, die Spannung und der Widerstand zusammen-hängen. Was kannst du tun, um dir die Formel möglichst gut zu merken?

*Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein. Bewerte die Vorgehensweisen mit Noten von 1 bis 6:*

1 2 3 4 5 6

a) Ich mache eine Zeichnung, um mir die Zusammenhänge zu verdeutlichen.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

b) Ich lerne die Formel durch Aufsagen oder Abschreiben einfach auswendig.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

c) Ich schaue mir die Ergebnisse vor der nächsten Unterrichtsstunde noch mal an.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

d) Ich erkläre einem Mitschüler oder meinen Eltern, was die Formel bedeutet.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

e) Ich formuliere einen Merksatz, den ich als Eselsbrücke nutze.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

- M Du hast die Vermutung, dass man mit breiten Fahrradreifen mehr Kraft beim Fahren aufwenden muss als mit schmalen Reifen.

*Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein, um die Frage zu beantworten. Bewerte die Vorgehensweisen mit Noten von 1 bis 6:*

1 2 3 4 5 6

a) Ich fahre mit zwei unterschiedlichen Rädern, einem Mountainbike und einem Rennrad und vergleiche anschließend, welche Fahrt anstrengender war.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

b) Ich befrage Fahrradfahrer mit breiten und mit schmalen Reifen, wie schwer es ist, auf ihrem Rad zu fahren.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

c) Ich montiere an meinem Fahrrad einmal breite und einmal schmale Reifen, fahre mit beiden gleich schnell auf der gleichen Strecke und messe die benötigte Kraft.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

d) Ich messe bei zwei unterschiedlichen Reifenbreiten die Kraft, die man für eine Radumdrehung benötigt.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

e) Ich befrage Fahrradhändler, bei welchen Rädern man mehr Kraft aufwenden muss.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

- R Ihr habt in Kleingruppen unterschiedliche Experimente zum gleichen Thema durchgeführt. Du sollst jetzt dem Rest der Klasse möglichst gut erklären, was ihr gemacht habt.

*Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein. Bewerte die Vorgehensweisen mit Noten von 1 bis 6:*

1 2 3 4 5 6

a) Ich beschreibe diejenigen Ergebnisse ausführlich, die am wichtigsten sind.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

b) Ich beschreibe alle Experimente, die wir gemacht haben und welche Vermutungen wir daraus gezogen haben.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

c) Ich beschreibe, wer was genau in unserer Gruppe gemacht hat.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

d) Ich beschreibe, welche Vermutungen wir hatten und mit welchen Experimenten wir sie überprüft haben.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

e) Ich wähle eines der Experimente aus und beschreibe dieses sehr ausführlich.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Gib' nun bitte einem der Testleiter Bescheid, dass du mit dem ersten Teil fertig bist.

Dann wird für dich das Programm am Computer gestartet.



*Anhang 11:* Erfassung demografischer Daten und des Interesses am Schulfach Physik  
(in Anlehnung an Baumert et al., 1986; in beiden vorliegenden Studien verwendet).

Auf diesem Blatt sollst du zunächst unter Punkt 1 Angaben zu deiner Person machen. Unter Punkt 2 findest du sechs Aussagen, mit denen wir dein Interesse am Physikunterricht erfragen möchten. Mache pro Aussage immer nur *ein* Kreuz für das, was am ehesten auf dich zutrifft. Alle Daten werden anonym behandelt.

1. Angaben zu deiner Person:

Wie alt bist du?

Kreuze hier dein Geschlecht an: Mädchen: ☐ Junge: ☐

Trage hier deine letzte Zeugnisnote für die folgenden Fächer ein:

Physik:  Mathematik:  Deutsch:  Englisch:

2. Angaben zu deinem Interesse am Physikunterricht:

|  | Trifft völlig<br>zu      | Trifft<br>eher zu        | Trifft eher<br>nicht zu  | Trifft gar<br>nicht zu   |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Mir liegt viel daran, in Physik viel zu wissen.                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Es ist für mich persönlich wichtig, das in Physik Gelernte zu behalten. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Ich freue mich auf den Physikunterricht.                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. In Physik würde ich gern mehr Unterricht haben.                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Physik gehört für mich zu den wichtigen Fächern.                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Mein Interesse am Fach Physik ist hoch.                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Vielen Dank bis hierhin 😊

*Anhang 12:* Die 15 Problemlöseaufgaben, die im computerbasierten Wissensanwendungstest als Textfenster eingeblendet wurden (in beiden vorliegenden Studien verwendet).

1. Wirf den einzelnen größten Bleikörper ins Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte!
2. Hefte den kleinsten Blei- und den größten Styroporkörper mit Hilfe der Heftmaschine zusammen!
3. Stelle die Flüssigkeitsdichte des Wassers auf  $1,2 \text{ g/cm}^3$  ein!
4. Bestimme die Dichte des größten Styroporkörpers mit Hilfe des Dichtescanners und schreibe sie in die Messtabelle!
5. Bestimme die Auftriebskraft des kleinsten Bleikörpers im Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte und schreibe sie in die Messtabelle!
6. Wirf den einzelnen Körper mit der kleinsten Gewichtskraft ( $F_G$ ) ins Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte ( $\rho_{FL}$ )!
7. Wirf den einzelnen Körper mit der größten Dichte ( $\rho_K$ ) bei einem Volumen von  $V = 500 \text{ cm}^3$  ins Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte ( $\rho_{FL}$ )!
8. Wirf den einzelnen Hartgummikörper mit der größten Auftriebskraft ( $F_A$ ) ins Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte ( $\rho_{FL}$ )!
9. Wirf den kleinsten einzelnen Styroporkörper ins Wasser mit der Flüssigkeitsdichte ( $\rho_{FL}$ ), bei der die Auftriebskraft ( $F_A$ ) dieses Körpers am größten ist!
10. Wirf den Körperturm, bei dem der Unterschied zwischen den Kräften  $F_o$  und  $F_u$  am größten ist ins Wasser mit der jetzigen Flüssigkeitsdichte ( $\rho_{FL}$ )!
11. Wirf den kleinsten Hartgummikörper in das Wasser mit der Flüssigkeitsdichte ( $\rho_{FL}$ ), bei der möglichst viele andere Körper auch steigen würden!
12. Bringe einen Körper mit dem Volumen von  $V = 500 \text{ cm}^3$  zum schweben!
13. Bringe einen Körperturm aus drei Körpern irgendwie zum schweben! Bringe ein und denselben Körperturm direkt nacheinander einmal zum Sinken und einmal zum Steigen!
14. Bringe ein und denselben Körperturm direkt nacheinander einmal zum Sinken und einmal zum Steigen!
15. Bringe einen Bleikörper irgendwie zum steigen!



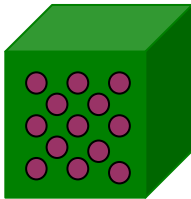
Anhang 13: Einführungsblatt für grundlegende Begriffe (experimentelle Studie).

**Liebe Schülerin, lieber Schüler,**

dieses Blatt könnt ihr auf eurem Platz liegen lassen und bei Bedarf nachschauen.

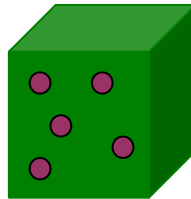
**1. Beispiel für das Prinzip der Dichte ( $\rho_K$ )**

Würfel 1:  
Masse ( $m$ ) = 1000g  
Volumen ( $V$ ) = 1000



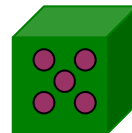
Dichte ( $\rho_K$ ) = 1 g/cm<sup>3</sup>

Würfel 2:  
Masse ( $m$ ) = 500g  
Volumen ( $V$ ) = 1000



Dichte ( $\rho_K$ ) = 0,5 g/cm<sup>3</sup>

Würfel 3:  
Masse ( $m$ ) = 500g  
Volumen ( $V$ ) = 250



Dichte ( $\rho_K$ ) = 2 g/cm<sup>3</sup>

Würfel 1 und Würfel 3 haben eine größere *Dichte* ( $\rho_K$ ) als Würfel 2, weil sie mehr *Masse* ( $m$ ) *pro Volumen* ( $V$ ) haben. Von Würfel 2 zu Würfel 3 nimmt nur das *Volumen* ( $V$ ) ab, die *Masse* ( $m$ ) aber nicht. Also hat Würfel 2 eine kleinere *Dichte* ( $\rho_K$ ) als Würfel 3.

**2. Verhältnis**

Beispiel: Das Verhältnis zwischen 2 unterschiedlichen Pfeilgrößen - Ein Verhältnis zu bestimmen kann bedeuten, dass man etwas miteinander *vergleicht*.

Wenn man die 2 Pfeile miteinander vergleicht, dann kann man zum Beispiel das Verhältnis zwischen ihren Pfeilgrößen bestimmen:

Der rote Pfeil ist im Verhältnis zum schwarzen Pfeil größer.



**3. Sinken, Schweben, Steigen**

Wenn Körper im Wasser sind, können sie sinken, schweben oder steigen.

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <u>Sinken bedeutet:</u>   | Ein Körper sinkt im Wasser zu Boden.                             |
| <u>Schweben bedeutet:</u> | Ein Körper bleibt auf der Stelle (sinkt nicht und steigt nicht). |
| <u>Steigen bedeutet:</u>  | Ein Körper steigt im Wasser nach oben.                           |

**Anhang 14:** Deskriptive Mittelwerte und Standardabweichungen für alle abhängigen Variablen der 2 x 2-ANCOVA der experimentellen Studie. Es handelt sich hier *nicht* um die kovarianzanalytisch ermittelten *estimated means*, die in Kapitel 6.3 (z.B. Tabelle 20) zugrundegelegt wurden. Dadurch sind vereinzelt unwesentliche Abweichungen möglich. Bis auf die abhängige Variable „Insgesamt durchgeführte Experimente“ sind alle Werte auf den Wertebereich zwischen 0 und 1 normiert.

| Wissenszuwachs (vorwissensbereinigt) | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>SE</i> |
|--------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| Spezifische Problemlöseziele         | 61       | -.37     | .82       | .11       |
| Unspezifische Problemlöseziele       | 57       | .09      | .92       | .12       |
| Spezifische Lernziele                | 57       | .17      | 1.07      | .14       |
| Unspezifische Lernziele              | 56       | .12      | 1.12      | .15       |
| Total                                | 231      | -.001    | 1.00      | .07       |

| Deklarativ-konzeptuelles Posttestwissen | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>SE</i> |
|---|----------|----------|-----------|-----------|
| Spezifische Problemlöseziele            | 61       | .55      | .21       | .03       |
| Unspezifische Problemlöseziele          | 57       | .64      | .23       | .03       |
| Spezifische Lernziele                   | 59       | .65      | .25       | .03       |
| Unspezifische Lernziele                 | 56       | .65      | .23       | .03       |
| Total                                   | 233      | .62      | .23       | .02       |

| Wissensanwendungstest          | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>SE</i> |
|--------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| Spezifische Problemlöseziele   | 35       | .49      | .25       | .04       |
| Unspezifische Problemlöseziele | 33       | .48      | .32       | .06       |
| Spezifische Lernziele          | 35       | .46      | .27       | .05       |
| Unspezifische Lernziele        | 40       | .53      | .30       | .05       |
| Total                          | 143      | .49      | .28       | .02       |

| Cognitive load                 | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>SE</i> |
|--------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| Spezifische Problemlöseziele   | 59       | .55      | .20       | .03       |
| Unspezifische Problemlöseziele | 56       | .46      | .22       | .03       |
| Spezifische Lernziele          | 56       | .61      | .17       | .02       |
| Unspezifische Lernziele        | 54       | .46      | .19       | .03       |
| Total                          | 225      | .52      | .20       | .01       |

| Strategienutzung (IVK)         | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>SE</i> |
|--------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| Spezifische Problemlöseziele   | 36       | .20      | .09       | .01       |
| Unspezifische Problemlöseziele | 34       | .29      | .07       | .01       |
| Spezifische Lernziele          | 36       | .23      | .12       | .02       |
| Unspezifische Lernziele        | 41       | .24      | .12       | .02       |
| Total                          | 147      | .24      | .10       | .01       |

| Insgesamt durchgeführte Experimente | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>SE</i> |
|-------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| Spezifische Problemlöseziele        | 36       | .62      | .43       | 7.18      |
| Unspezifische Problemlöseziele      | 34       | .80      | .36       | 6.20      |
| Spezifische Lernziele               | 36       | .52      | .37       | 6.13      |
| Unspezifische Lernziele             | 41       | .62      | .44       | 6.93      |
| Total                               | 147      | .64      | .41       | 3.40      |

*Anmerkungen:* *M* = Mittelwert (deskriptiv); *SD* = Standardabweichung; *SE* = Standardfehler